



**USAID**  
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMÉRICA

# Guía general para la aplicación de medidas de eficiencia energética térmica y energía renovable en inmuebles del sector salud.

MEXICO LOW EMISSIONS DEVELOPMENT PROGRAM (MLED).  
CONTRACT: AID-523-C-11-00001



## FECHA

Este informe fue elaborado por Tetra Tech ES Inc. para la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID.

## AVISO LEGAL

Las opiniones expresadas en esta publicación no reflejan necesariamente la opinión de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional ni la del Gobierno de los Estados Unidos.

[www.mledprogram.org](http://www.mledprogram.org)

## Guía general para la aplicación de medidas de eficiencia energética térmica y energía renovable en inmuebles del sector salud.

La presente guía fue elaborada por el Ing. Moisés Angel Lino Linares, y el Ing. Ignacio Sánchez, bajo la supervisión del Ing. Rogelio Verduzco de Tetra Tech, ES Inc. en el marco del Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México (MLED), patrocinado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), bajo el contrato “AID-523-C-11-00001” implementado por Tetra Tech ES Inc.

Para mayor información, por favor contacte a: [info@mledprogram.org](mailto:info@mledprogram.org)

[www.mledprogram.org](http://www.mledprogram.org)

# Guía general para la aplicación de medidas de eficiencia energética térmica y energía renovable en inmuebles del sector salud.

## Tabla de contenido

I. Introducción .....	4
II. Antecedentes.....	6
III. Objetivo y Alcance.....	6
IV.- Descripción técnica de los proyectos de sistemas de vapor y las condiciones generales de operación de los hospitales.....	7
IV.1 Condiciones generales de la operación de los hospitales .....	7
IV.1 Instalaciones de vapor.....	10
V. Mejores prácticas en ahorro de energía en los hospitales .....	13
1) Optimizar la combustión en la caldera mediante la reducción en el exceso de aire.....	16
2) Cambiar el tipo combustible utilizado en la caldera.....	21
3) Colocar aislamiento térmico en superficies calientes (tuberías y recipientes).....	23
4) Recuperar el condensado limpio.....	31
5) Retirar tubería inactiva en la línea de distribución de vapor.....	34
6) Aplicar un mantenimiento adecuado a las trampas de condensado para evitar su operación en falla abierta.....	35
7) Instalar un sistema de aprovechamiento de energía solar fototérmico para la generación de agua caliente.....	41
8) Sustitución de caldera.....	46
9) Gestión de la demanda de vapor.....	51
10) Reparación de fugas de vapor en las líneas.....	52
11) Desincrustación de la caldera .....	56
12) Optimización de las purgas de la caldera.....	59
VI. Evaluación del Desempeño Energético.....	62
VII. Conceptos básicos del vapor y de la caldera.....	64
VIII. Bibliografía.....	70

## I. Introducción

En los hospitales<sup>1</sup> se brindan una amplia gama de servicios de salud<sup>2</sup> los cuales, de acuerdo a la naturaleza de los mismos, requieren para su funcionamiento de un sinnúmero de servicios como las eléctricas, sanitarias, de aire acondicionado, de vapor, entre otras, la operación de dichos servicios se traduce en un consumo importante de energía (eléctrica y combustible). Su consumo dependerá de la energía demandada por la intensidad<sup>3</sup> de las actividades del hospital, así como del rendimiento<sup>4</sup> de la instalación.

A la par, por las propias necesidades inherentes de la actividad hospitalaria, la calidad de las instalaciones tiene que proyectarse con mayor cuidado, ya que éste tipo de inmuebles debe de cumplir con ciertas normas sanitarias que son muy rigurosas. Por ello, éstas tienen un tratamiento especial desde su diseño, construcción, operación y mantenimiento, ya que el objetivo fundamental de una instalación en ésta área es ser altamente confiable en su operación cotidiana. Por tal motivo, es fundamental el reducir al mínimo los fallos en la prestación del servicio, toda vez que un desperfecto o intermitencia de un servicio vital como puede ser el suministro de oxígeno o la interrupción de la energía eléctrica durante una operación, puede costar la vida de las personas que ahí se atienden. Recordando que la función principal de las instituciones de salud es brindar atención integral a su población, esto hace imprescindible que su operación sea de manera interrumpida<sup>5</sup> las 24 horas del día. En términos generales, los servicios que prestan las instalaciones hospitalarias deben de ser condiciones de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad.

Otro factor relevante que se debe de tomar en consideración en la confiabilidad de la operación en las instalaciones hospitalarias mexicanas, es que el país así como muchos otros, presenta una alta vulnerabilidad en sufrir desastres naturales, esto debido a que por la ubicación geográfica que México tiene, se encuentra en una zona tanto de riesgos geológicos (sismos, tsunamis, erupciones volcánicas), hidrometeorológicos (tormentas, heladas, inundaciones, sequías, etc.) y químicos (incendios forestales, procedencia antropogénica). Por tal motivo, en enero de 2005, 158 países, entre ellos México, se comprometieron ante la Organización de las Naciones Unidas a adoptar la

---

<sup>1</sup> Del lat. hospes = huespes, que es el establecimiento destinado tanto al diagnóstico como el tratamiento de los enfermos.

<sup>2</sup> Consultas (externas e internas), sala de urgencias, quirófanos, laboratorios, cocina, lavandería, esterilización, investigación y enseñanza, entre otros.

<sup>3</sup> La intensidad de los servicios que prestan un hospital está en función de dos elementos: 1) De la demanda de pacientes y usuarios del hospital (pacientes ambulatorios e internos y todo el personal del hospital) y, 2) Del tipo y atención del hospital, ya que de acuerdo a su función pueden ser hospital general o de especialidades, o por su ámbito de actuación local o regional, o bien, si es público o privado.

<sup>4</sup> Son varios los factores que afectan el rendimiento de una instalación hospitalaria, desde la ubicación geográfica del mismo, ya que de acuerdo a su ubicación son las condiciones climatológicas del lugar, la orientación, colindancias con otros inmuebles, los materiales con los cuales fueron construido el inmueble, la intensidad de la demanda energética, la preservación del inmueble e instalaciones que depende de la adecuada operación de los equipos así como de las prácticas, programación y presupuesto destinado al mantenimiento.

<sup>5</sup> Dirección de Prestaciones Médicas del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS).

iniciativa “Hospital Seguro” frente a desastres, durante la Conferencia Mundial sobre Reducción de Desastres, celebrada en Kobe, Japón.

En México, el objetivo del Programa “Hospital Seguro” es que éstos cuenten con los elementos estructurales, no estructurales y funcionales para permanecer accesibles y funcionando a su máxima capacidad y en la misma infraestructura, durante una amenaza natural o antropogénica e inmediatamente después de la misma. Este programa lo dirige la Secretaría de Gobernación a través de la Coordinación Nacional de Protección Civil mediante el Comité Nacional de Evaluación, Diagnóstico y Certificación del Programa Hospital Seguro (CNEDCPHS<sup>6</sup>).

En virtud de lo anterior, se entiende que las instalaciones hospitalarias deben de ser altamente confiables, por lo que en algunos casos existirá redundancias para que el servicio no se vea interrumpido. Esto hace que los costos que representa la facturación de la energía (tanto eléctrica como en el consumo de los combustibles) en este tipo de inmuebles sean altos, por lo que implementar medidas de eficiencia energética o del aprovechamiento de energías limpias que permitan reducir el consumo energético es sumamente relevante para la administración del hospital. Ya que una vez implementadas dichas medidas y con base en los ahorros alcanzados, se podrá destinar más recursos económicos que garanticen la preservación y el mantenimiento de las instalaciones, así como apoyar otras tareas del propio hospital.

Un punto importante que debe cuidarse al momento de planificar la implementación de las medidas de eficiencia energética y/o del aprovechamiento de energías renovables, es que se deben de cuidar los factores de operación, tales como son el control de temperatura para mantener los niveles de confort, control del medio ambiente y de las infecciones, entre otras, recordando siempre se debe mantener la disponibilidad de los servicios (agua, vapor, iluminación, gases medicinales, etc.), los cuales se requieren contar con ellos todo el tiempo, así como de verificar que las condiciones de las propias instalaciones sean seguras y de condiciones óptimas de funcionamiento para que los equipos que se sustituyan tengan las condiciones para el desempeño energético que se planeó en la medida de eficiencia energética, en caso contrario, se corre el riesgo que existan problemas con el desempeño del mismo proyecto.

Con base en lo antes expuesto, se diseñó la presente guía rápida en sistemas térmicos, que menciona algunas medidas de eficiencia energética y de aprovechamiento de las energías renovables que, en su conjunto, buscan mejorar tanto las prácticas operativas, de mantenimiento, y recomendaciones para la instalación de nuevas tecnologías. Lo que permitirá optimizar el uso de la energía, reducir la facturación de la misma y mitigar la emisión de gases efecto invernadero.

---

<sup>6</sup> La Secretaría de Salud ocupa el Secretariado Ejecutivo en el CNEDCPHS, coordina su operación en la institución y, como instancia rectora del Sistema Nacional de Salud impulsa la incorporación de las unidades hospitalarias a fin de que ante una emergencia o desastre otorguen servicios con la oportunidad y calidad que la población requiere.

## II. Antecedentes

En el marco del Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México (MLED por sus siglas en inglés) patrocinado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), brinda asistencia técnica al Gobierno de México en 4 diferentes esfuerzos:

- 1. Diseño e implementación de una estrategia de desarrollo bajo en emisiones a nivel nacional, y planes de acción contra el cambio climático en el ámbito estatal.*
- 2. Fortalecimiento de los sistemas para la medición, reporte y verificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en México.*
- 3. Implementación de proyectos demostrativos para el aprovechamiento de energías limpias.*
- 4. Coordinación del Programa Global de Cambio Climático (GCC) USAID / México.*

Dentro de las actividades de la tarea 3, la USAID a través de su Programa MLED, ha brindado asistencia técnica al Gobierno del Distrito Federal (GDF) hasta el otorgamiento de una donación para la instalación de un sistema de calentamiento de agua mediante el aprovechamiento de la energía solar en el Hospital Pediátrico “La Villa”, el cual forma parte de la red hospitalaria de la Secretaría de Salud del GDF.

El referido sistema, forma parte de un esfuerzo para promover el uso de energías limpias y tecnologías de eficiencia energética, que surge como una de las oportunidades identificadas del diagnóstico energético practicado al mismo Hospital Pediátrico “La Villa”; resultando en la decisión de instalar un sistema que cubriera el 35% de los requerimientos totales de agua caliente del hospital. En éste sentido, el Programa MLED llevó a cabo el proceso de adquisición de dicho sistema, y seleccionó a la empresa Módulo Solar S.A. de C.V. como proveedor para su instalación.

## III. Objetivo y Alcance

El objetivo de la presente guía es exponer una serie de medidas de eficiencia energética en el área térmica (sistemas de vapor - calderas) y en el aprovechamiento de energías renovables (calentamiento solar de agua – CSA), ya sea en el ámbito operativo, del mantenimiento, o en la instalación de nuevas tecnologías, que por la experiencia práctica nacional e internacional son muy rentables. Dichas medidas permitirán, tanto a hospitales públicos como a privados, obtener los siguientes beneficios:

1. Mejorar el uso y aprovechamiento de la energía, para que con esto reduzca el consumo de combustible, y por resultado, disminuir los costos en la facturación de los combustibles.
2. Mitigar los contaminantes atmosféricos (locales y de gases efecto invernadero) productos de la combustión en la caldera.
3. Reducir los costos del mantenimiento.
4. Mejorar las condiciones de seguridad.

5. Prolongar la vida útil de los equipos e instalaciones, entre otros beneficios.

Una característica importante de la presente guía es su replicabilidad a los hospitales que utilicen estos sistemas, desde pequeños hasta grandes complejos hospitalarios. Complementario a lo anterior, la guía está elaborada con un lenguaje sencillo (esto no implica que deje de tener la rigurosidad técnica que amerita un documento de este tipo), por tal motivo, la guía podrá ser aprovechada por el personal de operación y mantenimiento, o el personal involucrado en la administración hospitalaria, los cuales podrán interpretar e implementar las recomendaciones que en este documento se vierten.

Es importante señalar que si bien, las recomendaciones son de carácter general, se recuerda que siempre se deberá tomar en cuenta las sugerencias y las observaciones que indiquen tanto los especialistas en cada materia, así como los fabricantes de los equipos en cuestión, ya que éstos conocen en mayor detalle las particularidades de los equipos y sistemas. Por tal motivo, se recomienda que nunca se deje de consultarlos.

## **IV.- Descripción técnica de los proyectos de sistemas de vapor y las condiciones generales de operación de los hospitales**

### **IV.1 Condiciones generales de la operación de los hospitales<sup>7</sup>**

Tal y como se comentó anteriormente, en el país se tiene implementado tanto en hospitales públicos como en privados el programa “Hospital Seguro”, que los define como *“aquellos establecimientos de salud<sup>8</sup>, cuyos servicios permanecen accesibles y funcionando a su máxima capacidad instalada<sup>9</sup> y en su misma infraestructura<sup>10</sup>, inmediatamente después de un fenómeno destructivo de origen natural<sup>11</sup>”*.

Que esté funcionando el hospital no se refiere sólo a que no colapse, sino a que funcione, y funcione significa que los equipos estén en su lugar, que las instalaciones vitales: agua, electricidad, gases, etcétera, estén funcionando, y que el personal está entrenado y con los recursos necesario para poder prestar la atención que se requiere, eso es funcionando.

Los tres criterios que debe reunir un Hospital Seguro son:

---

<sup>7</sup> Fuente: “Guía Práctica de Hospital Seguro”, México.

<sup>8</sup> Esta definición dice: “Establecimiento de salud...”, por- que cuando se hace referencia a hospitales seguros, se adopta ese término para que pueda ser fácilmente asimilado por el común de las instituciones; no se puede limitar a hospitales de niveles de alta complejidad, debe ampliarse a todo establecimiento de salud.

<sup>9</sup> Esto es, no sólo basta que funcione parcialmente, tiene que funcionar en todo lo que está planificado que funcione.

<sup>10</sup> Es decir, no vale que el hospital exponga, por ejemplo, tiendas de campaña en el estacionamiento o en un campo deportivo adyacente o en la calle, y que ahí preste los servicios, ése no es un Hospital Seguro, tiene que ser en su misma infraestructura.

<sup>11</sup> Definición de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS).

1. **Protección a la vida.** La edificación del establecimiento de salud es capaz de mantenerse en pie y resistir con daño mínimo los fenómenos destructivos de gran intensidad que se presentan en la zona donde está ubicado.
2. **Protección de la inversión.** Las instalaciones y los equipos del establecimiento de salud son capaces de comportarse de tal forma que sufren daños mínimos y continúan operando frente a fenómenos destructivos de gran intensidad.
3. **Protección de la función.** El establecimiento de salud es capaz de mantener o mejorar su producción de servicios de salud como parte de la red a la que pertenece.

Con base en estos criterios, se certifica a un hospital como seguro. Aunque también otro factor relevante y, como se ha comentado anteriormente, es la vulnerabilidad del hospital ante los riesgos, por ello, el Grupo Técnico Asesor identificó las entidades federativas donde existe un mayor potencial de riesgo, estas se presentan en la **Error! Reference source not found.** Los Estados en color rojo son aquellos con mayor vulnerabilidad y, por tanto, los que principalmente deben de participar en el “Programa de Hospital Seguro”.

**Ilustración 1. Entidades federativas definidas de alto riesgo por el Gpo. Técnico Asesor para participar en el Programa Hospital Seguro**



Fuente: Guía Práctica Hospital Seguro.

De manera complementaria, otra normatividad que se toma en consideración en el país es la norma NFPA 99 “Código para Instalaciones de Cuidado de la Salud” edición 2012, la cual define las

categorías de sistemas del edificio (hospital) desde el punto de vista de la disponibilidad y confiabilidad crítica de los sistemas. En éste sentido, existen cuatro tipos de categorías, los cuales se deben de tomar en consideración al momento de aplicar una medida de eficiencia energética (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de categorías de áreas de acuerdo a la NFPA 99

Categoría	Sistema / Confiabilidad del equipamiento	Falla del sistema y su impacto	Ejemplo
Categoría 1	Debe funcionar y estar disponibles todo el tiempo.	Provoca una lesión grave o la muerte a los pacientes o prestadores de cuidados.	Consultorio de un cirujano.
Categoría 2	Se permite un corto periodo de inactividad de los Sistemas.	Provoca una lesión leve a los pacientes o prestadores de cuidados.	Instalaciones para pacientes ambulatorios.
Categoría 3	Se permite la falla del equipamiento no crítico.	Es poco probable que se produzcan lesiones.	Consultorio odontológico.
Categoría 4	La falla no provoca impacto.	No hay impacto ni lesiones.	Consultorio médico.

Fuente: NFPA 99 “Código para Instalaciones de Cuidado de la Salud”

Otra normatividad que se debe de tomar en cuenta en una instalación hospitalarias es la “*NOM-016-SSA3-2012, que establece las características mínimas de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada*”. Dicha norma es obligatoria para todos los establecimientos hospitalarios de los sectores público, social y privado, cualquiera que sea su denominación, que tengan como finalidad la atención de pacientes que se internen para su diagnóstico, tratamiento médico, quirúrgico o rehabilitación; así como para los consultorios de atención médica especializada de los sectores mencionados.

Recuerde siempre, al implementar proyectos de eficiencia energética o de energías renovables, debe, ante todo, considerar que todo lo antes descrito, ya que el costo de una instalación de salud o de un hospital seguro frente a un desastre es insignificante cuando se incluye en las consideraciones respectivas del diseño inicial. Para la gran mayoría de las nuevas instalaciones de salud, la incorporación de medidas integrales de protección contra sismos y fenómenos climáticos en el diseño desde el inicio solamente añadirá un 4 por ciento al costo total<sup>12</sup>. El costo de

<sup>12</sup> Fuente: Guía Práctica de Hospital Seguro. SSA, México

recondicionar las instalaciones de salud ya existentes puede variar grandemente dependiendo del contexto, pero si se prioriza la protección de los cuidados críticos y la funcionalidad del hospital se reducen los posibles costos y se ofrecen excelentes ejemplos de rentabilidad, tal y como se verán en la presente guía.

## IV.2 Instalaciones de vapor

El vapor es uno de los fluidos de trabajo mayor mente utilizado en las aplicaciones térmicas (de calor), usándose en diversos sectores (industria, comercio y servicios). La aplicación del vapor puede ser ya sea como medio en la transmisión de calor (cocción de alimentos, calentamiento de agua, lavandería, CEyE, entre otros usos) o en el aprovechamiento de trabajo mecánico, que comúnmente es para generar energía eléctrica. A los equipos e instalaciones que producen calor, lo transportan y lo aprovechan se les conoce en su conjunto como Sistemas Térmicos.

Las ventajas que tienen el vapor con respecto a otros fluidos es su facilidad de producirlo, de transportarlo y en su manejo, sin embargo, a pesar de su gran variedad de aplicaciones y que lleva más tres siglos de utilizarse, a la fecha, los sistemas de vapor tienen un gran potencial de ahorro de energía toda vez que no se utiliza de manera eficiente, por lo que ésta ineficiencia se traduce en un mayor consumo de combustible y, por ende, en un mayor gasto económico.

En la Ilustración 2 se presenta un típico sistema de vapor, que por lo general se compone de tres elementos, la generación de vapor, la distribución y los equipos usuarios del vapor, que a continuación se describen cada uno de ellos:

1. **Generación de vapor.** Ésta se produce en la caldera<sup>13</sup> (generador de vapor). El proceso de generación de vapor es el siguiente: en la caldera se ingresa agua proveniente del tanque de alimentación<sup>14</sup>, además de que se inyecta combustible y aire para que se produzca el fuego en el hogar de la caldera (combustión) y se genere el intercambio de calor entre los gases de combustión con el agua, generándose el vapor a las condiciones de presión requeridas por el usuario. Como subproducto sale de la caldera gases de combustión que son arrojados a la atmósfera.

Las pérdidas de energía en la generación de vapor se pueden asociar a una mala relación aire-combustible que trae como consecuencia una baja eficiencia en la combustión (demasiado exceso de aire ocasiona la necesidad de ingresar más combustible, poco aire originan inquemados del propio combustible), pérdidas de calor en la chimenea por una alta

---

<sup>13</sup> Existen diferentes tipos de calderas, una de sus clasificaciones son tubos de agua o tubos de humo.

<sup>14</sup> Dicho tanque se alimenta tanto del agua de retorno de condensados del vapor, y el proveniente del sistema de tratamiento de agua. Una vez recolectada en el tanque, posteriormente es bombeada a la caldera. Es importante contar, por cuestiones de seguridad, al menos con dos bombas de alimentación, una en operación, y una segunda de respaldo, por si la primera llegara a fallar.

temperatura de los gases (comúnmente originado por una mala eficiencia de la transferencia de calor producto de incrustaciones u hollín en los elementos de transferencia de calor; ingreso de agua fría a la caldera derivado de que no se recupera condensado; baja calidad del vapor por arrastre de agua en estado líquido; excesivo caudal de purgas o muy continuas; pérdidas de calor en el cuerpo de la caldera por aislamiento deteriorado; fugas de vapor; bajo factor de carga de la caldera; entre otras. Los generadores de vapor o calderas se clasificarán en las siguientes categorías (ver Tabla 2).

**Tabla 2. Tipos de Categorías para Generadores de Vapor o Calderas**

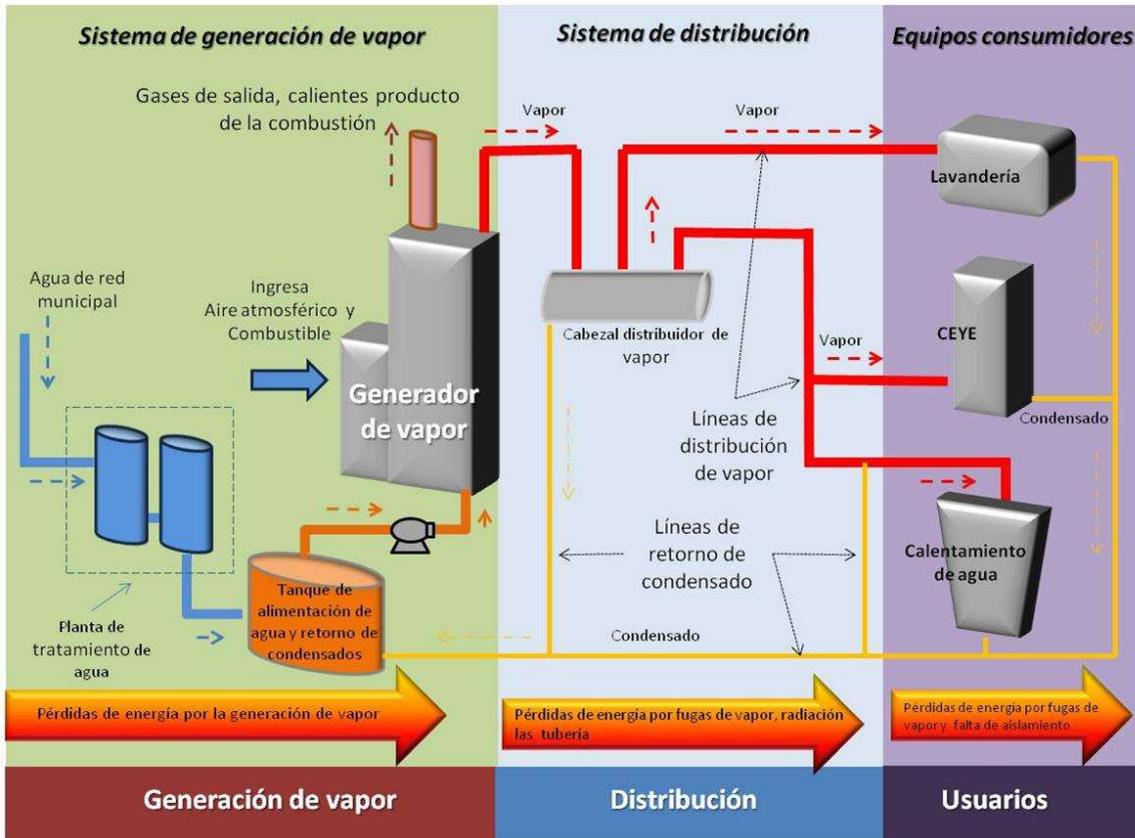
Categoría	Presión <sup>15</sup>	Capacidad térmica
II	Menor o igual a 5 kg/cm <sup>2</sup>	Menor o igual a 400 000 kcal/hr
III	Menor o igual a 5 kg/cm <sup>2</sup>	Mayor a 400 000 kcal/hr
	Mayor a 5 kg/cm <sup>2</sup>	Cualquier capacidad

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-020-STPS-2011, Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - Funcionamiento - Condiciones de Seguridad.

- Distribución.** Después de que el vapor se ha generado, comúnmente se dirige a un cabezal distribuidor, donde salen de éste las líneas que alimentan del fluido a los usuarios que lo requieran. Dependiendo del tamaño de las instalaciones, así como la ubicación de los usuarios dentro del inmueble, el sistema puede contar con más de un cabezal distribuidor. Las pérdidas de energía se originan por la falta de aislamiento en las tuberías, dado que la superficie de dichas tuberías está caliente por el transporte del vapor por lo que se irradia calor a la atmósfera. Por otra parte, una buena práctica operativa es contar, a lo largo de dichas líneas de distribución, con un sistema de trampas de condensado, el cual desaloje continuamente el agua condensada y evite los golpes de ariete en la tubería con su consecuente deterioro.
- Usuarios.** Por último, el vapor es suministrado a los usuarios con la presión adecuada (en ciertos casos, antes de que el vapor llegue al equipo se colocan reductores de presión para regularla). Las pérdidas de energía se pueden generar por la falta de aislamiento en los equipos usuarios, por lo que se pierde calor a la atmósfera. Es importante señalar que un buen sistema de vapor cuenta con la recuperación del condensado que se genera en los equipos consumidores de vapor, aclarando que sea condensado limpio, libre de cualquier tipo de contaminación.

<sup>15</sup> Presión de calibración sobre la primera válvula de seguridad.

Ilustración 2. Sistema de vapor en un hospital



Fuente: Programa MLED

## V. Mejores prácticas en ahorro de energía en los hospitales

A continuación, se enlistan las mejores prácticas de ahorro de energía en el área térmica y aprovechamiento de CSA en los hospitales. En la Tabla 3 se presenta el área de impacto que cada medida de eficiencia energética tiene en las diferentes áreas del hospital, ya sea en la operación o en el mantenimiento, o bien, en el retrofit<sup>16</sup>, se sustituya un equipo, o finalmente se instale una nueva tecnología.

Se entiende por medidas de mejores prácticas operativas de eficiencia energética a los cambios en la forma de maniobrar los equipos o en la modificación de la cultura laboral de las personas, donde por dichos cambios se logra una mejor utilización de los equipos o sistemas, consiguiendo un mejor aprovechamiento de la energía. Este tipo de medidas son de muy baja inversión y sus resultados positivos son casi inmediatos. Las inversiones principalmente son del tipo de capacitación y difusión.

Las medidas de mejores prácticas de mantenimiento, fundamentalmente son recomendaciones que no se enfocan a un mantenimiento correctivo, sino se orientan a que se defina una adecuada planeación y programación del mantenimiento, haciendo énfasis a los sistemas predictivos que se basan en la evaluación del desempeño de los equipos y sistemas. Estas medidas son de baja a mediana inversión, pues implican reprogramar las actividades y tiempos de mantenimiento a los equipos, mientras que, en otros casos, es mejorar las prácticas tradicionales.

Por último, las medidas de sustitución tecnológica, se consideran aquellas que realicen una sustitución parcial o adecuación tecnológica (retrofit) ya sea en un equipo o en un sistema, o bien, se amerite la sustitución tecnológica total. El nivel de inversión de este tipo de medidas es considerado de medio a alto.

El retrofit es cambiar y adecuar una parte del equipo o sistema con el propósito de que este brinde un servicio con mayor eficiencia energética. En contraste, en la sustitución total, se cambia todo el equipo de una eficiencia estándar por otro equipo de una mayor eficiencia o alta eficiencia (tecnología de punta). En estas medidas se incluye el aprovechamiento de las energías renovables que es una nueva tecnología en las instalaciones, tal es el caso del calentamiento de agua mediante el aprovechamiento de la energía solar.

No obstante que el uso de tecnologías de punta para la atención de los usuarios del Sistema Nacional de Salud depende de la disponibilidad de recursos financieros de las instituciones y establecimientos para la atención médica hospitalaria y ambulatoria de los sectores público, social y privado, se debe de tomar siempre como referencia la norma NOM-016-SSA3-2012 ya que ésta establece las características y criterios mínimos necesarios de infraestructura y equipamiento que garanticen a la población demandante, servicios homogéneos con calidad y seguridad.

---

<sup>16</sup> Se reemplazan equipos ya obsoletos y se conserva la parte mecánica en buen estado como es la estructura propia del sistema, soportaría en general, sin modificar obra civil o cableado.

**Tabla 3. Área de impacto de las medidas de eficiencia energética**

Nombre de la medida	Área de impacto de la medida de eficiencia energética				
	Operación	Mantenimiento	Retrofit	Sustitución	Nueva tecnología
1) Optimizar la combustión mediante la reducción del exceso de aire.	✓	✓			
2) Cambiar el tipo combustible utilizado en la caldera.		✓	✓		
3) Colocar aislamiento térmico en superficies calientes (tuberías y recipientes).		✓			
4) Recuperar el condensado limpio.	✓	✓			✓
5) Retirar tubería inactiva en la línea de distribución de vapor.		✓			
6) Aplicar un mantenimiento adecuado a las trampas de condensado para evitar su operación en falla abierta.	✓	✓		✓	
7) Instalar un sistema de aprovechamiento de energía solar fototérmico.					✓
8) Sustituir la caldera.				✓	
9) Implementar la gestión de la	✓	✓			

Nombre de la medida	Área de impacto de la medida de eficiencia energética				
	Operación	Mantenimiento	Retrofit	Sustitución	Nueva tecnología
demanda de vapor.					
10) Reparación de fugas de vapor	✓	✓			
11) Desincrustación de la caldera	✓	✓			
12) Optimización de purgas de la caldera	✓	✓			

Fuente: Programa MLED

## 1) Optimizar la combustión en la caldera mediante la reducción en el exceso de aire.

### Objetivo de la medida

Optimizar la combustión mediante la reducción del exceso de aire en la mezcla aire-combustible de la caldera, a través del monitoreo de los gases de combustión para determinar la carburación adecuada.

### Problemática encontrada

Durante la operación de la caldera es común encontrar que exista un exceso de aire<sup>17</sup> en la combustión, esto se debe a que es necesario inyectar un poco más al que se establece como aire teórico<sup>18</sup> con el propósito de asegurar que todo el combustible sea quemado; sin embargo, cuando el exceso de aire es muy alto, trae como consecuencias un desperdicio de energía, ya que como hay una cantidad adicional de gases atmosféricos<sup>19</sup> que no reaccionan en la combustión, estos absorben energía reduciendo la cantidad de energía disponible para generar vapor, además de que baja la temperatura de la flama reduciendo la transferencia de calor por radiación en el hogar.

En el caso contrario, un bajo nivel de exceso de aire, provoca que la combustión sea incompleta y se produzcan inquemados, provocando que en el hogar de las calderas o en la superficie de los tubos se presenten depósitos de hollín, monóxido de carbono e hidrocarburos. Tal situación reduce también la eficiencia en la transferencia de calor al agua y, por consecuencia, un mayor consumo de combustible. Una forma sencilla de apreciar el bajo exceso de aire en la combustión es cuando el color de los gases en la salida de la chimenea se aprecia de un tono oscuro. Al suceder esto, los caldereros<sup>20</sup> incrementan el flujo de aire para que el color desaparezca, pero se cae en un exceso de aire que hace que se enfríe la caldera y la combustión no sea la adecuada, por lo que disminuye la eficiencia tanto de la combustión como de la generación de vapor.

Otra situación que se presenta por la falta de mantenimiento, es que se presenten infiltraciones en la caldera, cuestión que provoca reducción en la temperatura de los gases de combustión y hace que o la eficiencia en la combustión no sea la más adecuada o que la temperatura de los gases de combustión sea menor, por lo que la cantidad de calor disponible se reduce.

### Mejores prácticas

La reducción del exceso de aire es una de las técnicas operativas más efectivas que puede aplicarse sin tener que realizar altas inversiones.

---

<sup>17</sup> Es la cantidad de aire más allá de la requerida teóricamente (por estequiometría), el aire total es el que se inyecta y que es suministrado al quemador.

<sup>18</sup> El aire teórico es aquél que estequiométricamente (cálculo químico) se requiere para hacer reaccionar todo el combustible, sin que sobre, ni falte aire. A este aire se le conoce también como 100% de aire necesario para la combustión.

<sup>19</sup> Entre estos gases está el nitrógeno, el cual no presenta reacción química, pero sí absorbe calor.

<sup>20</sup> Son los operadores de calderas, también conocidos como fogoneros.

Para tener una combustión óptima se debe de cuidar que exista un exceso de aire adecuado y además se tenga una buena mezcla del aire-combustible mediante una turbulencia adecuada. Ya que una combustión optimizada da como resultado una temperatura alta en la llama y que sea corto el tiempo de combustión. Caso contrario, si no hay una buena mezcla, la temperatura de la llama será menor, por lo que el combustible tardará más tiempo en quemarse.

Por ello, es importante reducir el exceso de aire a los niveles mínimos factibles y, asegurar que el mezclado sea el óptimo, cerciorándose que se tenga una buena turbulencia, ya que con esto se aprovecha de mejor manera la energía que contiene el combustible. Para efecto de lo anterior, en la Tabla 4 se presenta el exceso de aire recomendado por tipo de combustible, el nivel máximo de oxígeno (% de O<sub>2</sub>) y el del bióxido de carbono (ppm de CO) para una combustión eficiente.

**Tabla 4. Exceso de aire recomendado por tipo de combustible**

Exceso de aire recomendado, valor máximo de O <sub>2</sub> y de CO			
Combustible	Exceso de aire recomendado (%)	O <sub>2</sub> máximo (%)	CO máximo (ppm)
Gas natural	5 – 10	2.0	50
Propano	10 – 20	3.0	50
Diésel	15 – 25	3.5	200

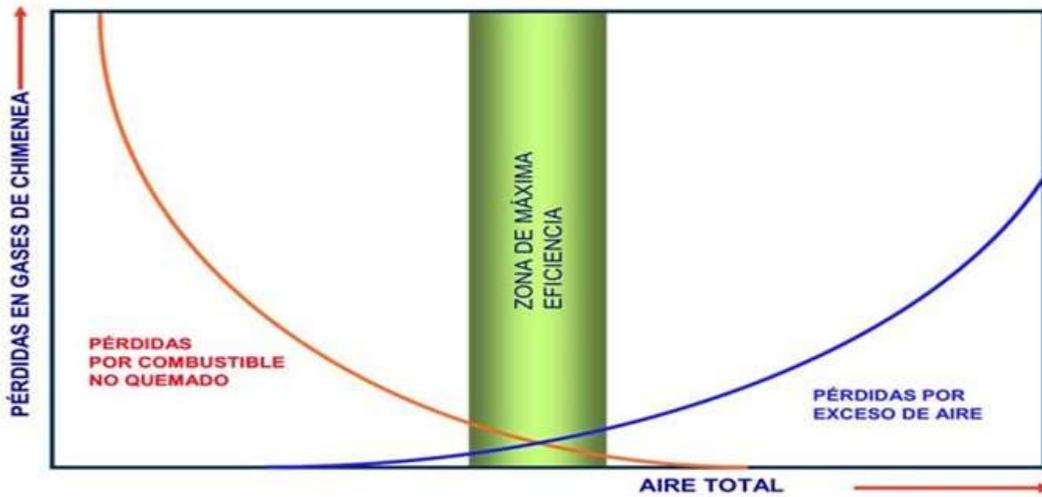
Fuente: CONUEE Consejos para ahorrar energía en sistemas de vapor pág. 11 y experiencia del consultor basada en la recomendación de fabricantes de calderas

Al reducir el exceso de aire se cumplen varias condiciones:

- Cuando los gases salen de la caldera llevan un alto potencial de desperdicio de energía que puede reducirse al disminuir el exceso de aire (volumen de gases);
- A menor exceso de aire, menor velocidad y mayor estadía y transferencia de calor en el hogar de la caldera.

Para tener una mayor claridad de los efectos que puede tener el exceso de aire en las pérdidas de los gases de la chimenea, se esquematizan dichas consecuencias en la siguiente gráfica en la que se muestra cómo, al incrementarse el exceso de aire, se disminuyen las pérdidas por combustible no quemado, pero se incrementan las pérdidas de energía por dicho exceso de aire.

Gráfica 1. Exceso de aire vs pérdidas de energía en gases de chimenea



Fuente: CONUEE. Bases para el ahorro de energía de calderas y sistemas de vapor

La ejecución de la medida puede ser ejecutada por el personal operativo o de mantenimiento. En primer lugar, deberá hacerse una revisión previa de las condiciones de la caldera, las cuales se describen en la siguiente tabla:

Tabla 5. Pasos a seguir para revisión preliminar de la caldera

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
1	Revisión de controles de la caldera y sistema eléctrico	Es necesario revisar los controles y el sistema eléctrico de la caldera para asegurar que ésta va a operar de manera adecuada y segura. Para ello apóyese de los manuales de operación de la caldera.	Caldera.
2	Revisión del sistema de inyección de combustible	Se requiere revisar que las boquillas o espreas del sistema de inyección del combustible se encuentren dentro del diámetro recomendado por el fabricante. Un mayor diámetro implica un mayor consumo de combustible y una menor calidad en la "pulverización" o espreado del combustible. Es común que por el uso continuo el diámetro crezca, por lo que ser sustituido. Por otra parte, si las boquillas son manufacturadas en el sitio, verifique que el metal con el que se fabrican sea el recomendado, ya que de usar aceros no adecuados provocan que su vida útil se reduzca considerablemente.  Otro aspecto a revisar es asegurar que las condiciones del combustible sean las óptimas, tanto en temperatura, como en presión de inyección. También revise y de mantenimiento a la bomba, filtros, válvula de control, etc.	Conjunto quemador de la caldera y/o sistema de inyección del combustible.

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
3	Revisión del conjunto quemador y del ventilador	Se necesita verificar que las condiciones del difusor del aire, así como del ventilador estén operando en condiciones óptimas, esto es, que los alabes no se encuentren dañados.	Conjunto quemador y ventilador.
4	Realizar el análisis de gases y el ajuste	Operando la caldera se procede a efectuar los análisis de los gases de combustión, esto en la salida de la chimenea donde deberá haber un punto de muestreo, o sea, un barreno donde pueda introducir la sonda del analizador de gases, lo más cercano al cuerpo de la caldera, para evitar medir los gases con alguna entrada adicional de aire. El equipo utilizado para el efecto es un analizador <sup>21</sup> de gases. Las mediciones y el ajuste del aire se deberán efectuar en las tres condiciones de flama (fuego bajo, medio y alto). En cada condición se mide el exceso del aire y se procede a realizar el ajuste correspondiente de la alimentación del aire, de tal manera que el exceso de aire no sobre pase lo que establece la Tabla 4.  Cabe mencionar que en los manuales de la caldera viene especificada la forma de hacer dichos ajustes, por lo que se recomienda ver las especificaciones del fabricante.	Chimenea de la caldera y conjunto quemador.

Fuente: Programa MLED

Del punto 4 (análisis de gases y ajuste) de la tabla anterior, se describe brevemente las actividades que se llevan a cabo para efectuar mediciones de la combustión en la caldera. Para la optimización de la misma y, al momento de verificar los valores obtenidos de los gases de combustión, en la siguiente tabla se presentan de cada gas la valoración (alto o bajo) de acuerdo a los datos definidos en la Tabla 6. Así mismo, se explica brevemente las causas de estos valores y su solución.

**Tabla 6. Pasos a seguir para la optimización de la combustión**

Valores del análisis	Causas	Solución
CO2 alto y O2 bajo.	Cantidad de aire introducido en caldera insuficiente.	Aumentar la apertura de la compuerta de paso de aire del quemador.

<sup>21</sup> En el mercado existe una diversidad de marcas entre las que se encuentran el Testo y el Bacharach, entre otros equipos.

Valores del análisis	Causas	Solución
CO <sub>2</sub> bajo y/o O <sub>2</sub> alto.	Alto exceso de aire.	Disminuir la apertura de la compuerta de paso de aire del quemador.
CO alto y O <sub>2</sub> alto.	Mezcla aire-combustible inadecuado.	Desmontar el inyector o conjunto quemador, llevar a cabo una limpieza o sustituirlo si fuera necesario y efectuar de nuevo el análisis.
Temperatura de paredes de la caldera mayor que la temperatura ambiente encuarto de la caldera.	Calderas antiguas o con desperfectos en su aislamiento.	Sustitución del aislamiento de las paredes de la caldera.
Temperatura de gases de combustión mayor que 230 °C.	Intercambio de calor inadecuado	Limpieza del interior de la caldera o instalación de un economizador de calor para recuperar el calor residual presente en los gases de combustión.

Fuente: Programa MLED

Por último, es importante recordar que por cada 1% de oxígeno (equivalente al 5% en exceso de aire) medido en los gases de salida es indicativo de una pérdida de energía del 0.5%. Así también, se tiene que revisar que si se incrementan la temperatura de los gases de salida quiere decir que se está perdiendo eficiencia en la transferencia de calor, ya sea por la presencia de hollín o incrustaciones.

## 2) Cambiar el tipo combustible utilizado en la caldera.

### Objetivo de la medida

Cambiar el combustible que se está utilizando en la caldera por uno combustible más económicos y limpios para reducir el costo de la generación del vapor.

### Problemática encontrada

El principal costo en la generación del vapor es justamente el que corresponde al consumo del combustible. De acuerdo al tipo que se utilice es la facturación que erogará el hospital por su uso de la caldera.

Existe una relación directa del tipo de combustible utilizado y la eficiencia en la combustión que afectan la eficiencia en la generación del vapor. Ya que de acuerdo al combustible utilizado es la facilidad de que éste sea mezclado de mejor manera y con ello, la combustión sea más eficiente.

El mezclado óptimo del aire-combustible está relacionada en que tan eficiente se hace la aspersion del combustible para que a su vez se mezcle con el aire. En el caso del combustible líquido como es el diésel, sucede que gotas finas podrán quemarse completamente, mientras que gotas grandes provocarán que parte del combustible no sea quemado, dando un porcentaje de combustible no quemado (inquemados), por lo que baja tanto la eficiencia de la combustión como la eficiencia en la generación del vapor. Por ello, se tiene que inyectar una mayor cantidad de aire.

En el caso de los combustibles gaseosos, la mezcla se realiza de manera más eficiente, por lo que el exceso del aire se reduce, traduciéndose en una mejor eficiencia en la combustión y menores pérdidas de energía en los gases de combustión. Sin embargo, se tiene que cuidar el tiempo de residencia de los gases de combustión al interior de la caldera; una velocidad alta de los gases también bajara que éstos no entreguen el calor y se reduzca la eficiencia de la generación.

### Mejores prácticas

Con el propósito de mejorar la eficiencia de combustión se recomienda sustituir un combustible líquido por un combustible gaseoso, donde un punto es buscar mejorar el mezclado. De preferencia se recomienda utilizar gas natural ya que su costo por cada GJ es más barato que los otros combustibles.

Actualmente, se ha ampliado el suministro del gas natural en varias ciudades de México, permitiendo que su aprovechamiento sea mayor. Este combustible es más limpio que el diésel y que el gas L.P. Una ventaja adicional es que su precio es menor comparado a otros combustibles. Lo anterior se muestra en la Tabla 7, donde se hace la comparativa por cada tipo de combustible vs costo por cada unidad de energía. En dicha tabla se aprecia que el diésel es el combustible más caro, ya que cuesta 338 pesos por cada GJ de energía, mientras que el gas natural alcanza los 66 pesos por cada GJ de energía.

En esta misma tabla también se presenta los ahorros que se pueden obtener al momento de hacer la sustitución de un "X" combustible por gas natural. Por ejemplo, si se sustituye diésel por gas

natural, la diferencia de costo es 271 pesos por cada GJ y, cuando se sustituye el gas L.P. por gas natural se tiene una diferencia de precios de 198 pesos por cada GJ, que son los ahorros económicos que se pueden obtener (Ver Tabla 7).

**Tabla 7. Precios Actualizados a precio promedio junio de 2016<sup>22</sup>**

Tipo de combustible	Precio		Poder Calorífico	Precio Actual	Ahorro, sustitución del Diésel	Ahorro, sustitución del Gas L.P.
	\$	Unidad	GJ/m <sup>3</sup>	\$/GJ	\$/GJ	\$/GJ
Diésel	13.73	\$/lt	36.2158	327.79		
Gas L.P.	6.77	\$/lt	25.7907	271.96	55.84	
Gas Natural Industrial <sup>[1]</sup>	54.04	\$/GJ	0.03542	57.81	269.99	214.15

Fuente: PEMEX

Un punto relevante que se debe de cuidar al sustituir el tipo de combustible es verificar que las condiciones de operación de la caldera hayan sido ajustadas al uso del nuevo combustible, ya que dicho cambio implica modificar el sistema de combustión, desde el suministro del combustible, como la inyección del aire. En éste ajuste se debe de verificar el tiempo de residencia de los gases de combustión dentro de la caldera para asegurar que el intercambio de calor sea eficiente. En este sentido, se tendrá que revisar con el proveedor de la caldera la factibilidad de dichos cambios y ajustes, así como los costos que representarían estos gastos de conversión.

Los puntos que se deben de cuidar al momento de cambiar el combustible es que<sup>23</sup>:

1. Los tanques para combustible con capacidad suficiente para mínimo de 5 días.
2. Los depósitos que contienen elementos inflamables se encuentren a una distancia que afecte el grado de seguridad del Hospital.
3. Seguridad del sistema de distribución (Válvula; tuberías y uniones).

<sup>22</sup> Se consideró el precio promedio de junio de 2016 y el precio de la molécula de gas natural para la Zona Centro y un consumo de 200 m<sup>3</sup>.

<sup>23</sup> Lista de verificación del “Programa Hospital Seguro”.

### 3) Colocar aislamiento térmico en superficies calientes (tuberías y recipientes).

#### Objetivo de la medida

Colocar nuevo aislamiento térmico o reparar el existente, tanto en la red de distribución de vapor como en la del retorno de condensados y en los tanques que almacenen fluidos calientes para reducir las pérdidas de energía.

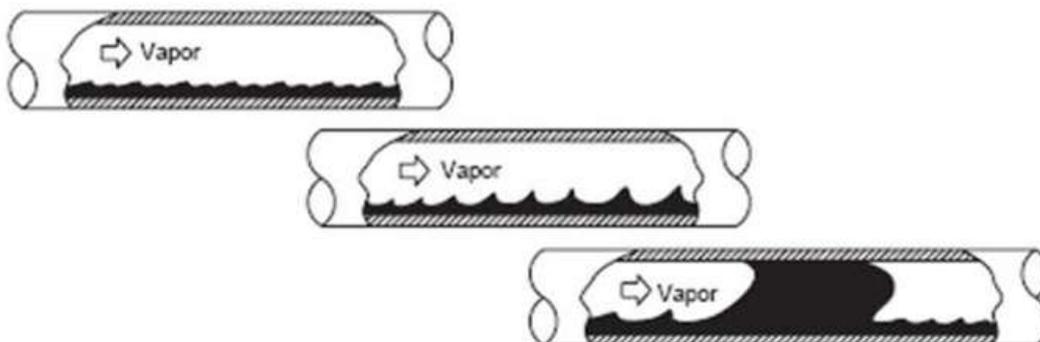
#### Problemática encontrada

Un problema común que se presenta en las instalaciones hospitalarias es encontrar que el aislamiento térmico de las tuberías que distribuyen el vapor se halle con cierto daño, lo que provoca la merma de sus propiedades térmicas y por consecuencia, existan pérdidas de energía.

Los daños pueden ser provocados por el tránsito del personal que llega a pisar el aislamiento, o por la colocación de materiales sobre de estos, o bien, por una inadecuada instalación del aislamiento y si están expuestos a la intemperie, sufran deterioro ocasionado por el agua de lluvia o por la humedad presente en el medio ambiente, ocasionando que el aislamiento se hinche reduciendo su eficiencia, entre otras causas. En ciertos casos, llega a suceder que las tuberías que conducen el vapor y el retorno de condensados no estén aisladas. De igual manera, por reparaciones en tuberías, tanques, válvulas y diversos accesorios de la instalación no se vuelve a colocar el aislamiento térmico apropiadamente, sufriendo el respectivo deterioro.

Los problemas operativos que se generan al no contar con aislamiento o tener aislamiento dañado en las líneas de distribución de vapor es que, al formarse condensado en las tuberías, y no se cuente con el drenado adecuado (ver el capítulo “Recuperar el condensado limpio.”), se produzcan golpes de ariete en los puntos bajos del sistema de distribución, lo que con el paso del tiempo provocará fugas de vapor en las uniones entre las tuberías y accesorios (Ver Ilustración 3).

Ilustración 3. Acumulación de condensado en las tuberías que conducen vapor y formación del golpe de ariete



La formación de una bolsa 'sólida' de agua

Fuente: Spirax Sarco

Otra consecuencia negativa es la formación de corrosión en las mismas líneas, debido a la condensación que se produce en las tuberías, por lo que se disminuye la eficacia de transporte, requiriéndose una mayor cantidad de vapor que compense la condensación formada, que se traduce en un mayor consumo de combustible en la caldera.

Por el lado de la falta de aislamiento en el retorno de condensado, provoca que éste pierda temperatura antes de retornar e ingresar a la caldera, por lo que también se traduce en un mayor consumo de combustible. Cuestión similar pasa con los tanques calientes que no están aislados, ya que el calor se disipa a la atmosfera.

En la Ilustración 4 se presenta una válvula y accesorios sin aislamiento (fotografía izquierda), así como aislamiento deteriorado en tubería de distribución de vapor (fotografía derecha).

**Ilustración 4. Válvula y accesorios sin aislamiento y tubería con aislamiento deteriorado**



Fuente: Programa MLED

### **Mejores prácticas**

La correcta preservación del aislamiento térmico puede reducir las pérdidas de energía entre un 70% a un 90%, así como se aminoran los problemas de golpe de ariete y se mantiene la presión de vapor requerida por los equipos; paralelamente se reduce el riesgo laboral por quemadura que puede provocar las superficies expuestas de las tuberías y recipientes calientes.

Por lo anterior, se recomienda llevar a cabo un programa de inspección en el sistema de distribución de vapor, línea de retorno de condensado y los equipos que utilicen vapor, para evaluar si el aislamiento térmico tiene que ser sustituido parcial o totalmente. Está práctica debe de estar enmarcada en el programa de mantenimiento rutinario.

Dicha inspección puede ser visual o se puede utilizar una cámara termográfica. Con ella se puede determinar los puntos donde el aislamiento ha perdido sus propiedades, ya sea porque ha sido golpeado o por estar húmedo, entre otras causas. En la Ilustración 5 se aprecia una fotografía termográfica que muestra una parte del aislamiento deteriorado en tuberías, válvulas y tanques, también se indica la temperatura a la que se encuentran estas superficies.

Ilustración 5. Termografía practicada en superficies calientes

### Aislamiento térmico de superficies calientes

		<b>Temperaturas en superficies</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuberías de distribución de Vapor: <u>145°C</u></li> <li>• Retorno de condensado: 90°C</li> <li>• Agua caliente: 60°C</li> <li>• Tanque de condensados 50°C.</li> </ul>
		

26

Fuente: Programa MLED

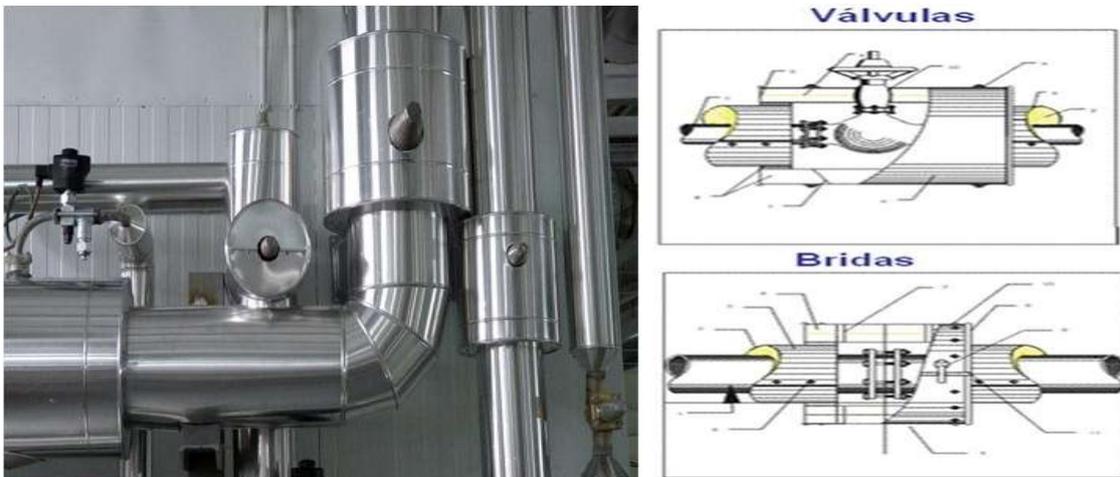
Por regla general, se debe colocar aislamiento térmico en todas aquellas tuberías cuyas temperaturas se encuentren por arriba de los 60°C, tanto en las de vapor como en la de agua caliente. En la Ilustración 6 se aprecia en la fotografía de la derecha unas tuberías a la que se le colocando el aislamiento térmico, mientras que en la fotografía de la izquierda se aprecia el acabado de la lámina protectora sobre el aislamiento térmico. Dicho acabado es una protección de aluminio o acero, que cubre al aislamiento.

Ilustración 6. Tubería aislada<sup>24</sup>



También es importante colocar aislamiento en las válvulas y otros accesorios de las líneas de vapor, tal y como se muestra en la Ilustración 7 y la Ilustración 8. En la Ilustración 7 se presenta aislamiento fijo, donde prácticamente se encapsula tanto válvulas como las bridas. En la fotografía de la izquierda se muestra dicho encapsulamiento, mientras que en las fotografías de la derecha esquemáticamente se presenta en corte de cómo queda el encapsulamiento.

Ilustración 7. Aislamiento térmico en válvulas y bridas<sup>25</sup>



<sup>24</sup> Fuente: <http://aislaconpoliuretano.com/la-importancia-del-aislamiento-termico-en-la-industria.htm>  
<http://www.ahorroenergia.com/la-importancia-del-aislamiento-termico-en-la-industria/>

<sup>25</sup> Fuente: <http://www.aislamientosbriones.com/servicios.html>

En la Ilustración 8 se muestra el aislamiento térmico para las válvulas del tipo de colchón, la ventaja sobre las anteriores es que son removibles lo que facilita el mantenimiento de las válvulas. La fotografía de la izquierda se presentan el aislamiento y en la fotografía de la derecha su aplicación a una válvula.

Ilustración 8. Aislamiento térmico para válvulas del tipo de colchón removibles<sup>26</sup>



Para la instalación de los aislamientos térmicos se debe de consultar dos normas:

- “Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014 Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales”.
- “NRF-034-PEMEX-2004, Aislamientos Térmicos para Altas Temperaturas en Equipos, Recipientes y Tubería Superficial”.

La primera norma establece la eficiencia energética de los sistemas de aislamientos térmicos, a través de la máxima densidad de flujo térmico permitida y el método de prueba para determinarla, en tuberías y equipos de los procesos nuevos y ampliaciones y modificaciones de los existentes, que operen a altas<sup>27</sup> y bajas temperaturas dentro de los intervalos establecidos, que se instalen en la República Mexicana, independientemente del sistema termoaislante utilizado en la tubería o equipo. La segunda norma de referencia, establece los requisitos mínimos para el diseño,

<sup>26</sup> Fuente: <http://www.cisealco.com/index.php/productos/aislamiento-termico/chaquetas-aislantes-removibles>  
[http://www.losconstructorestextiles.com/proteccion\\_altas\\_temperaturas.html](http://www.losconstructorestextiles.com/proteccion_altas_temperaturas.html)

<sup>27</sup> Se define como Alta temperatura: de 298 K (25°C) y hasta 923 K (650°C).

materiales<sup>28</sup> e instalación<sup>29</sup> requeridos para conformar un sistema termoaislante de alta temperatura con rango de 310 K (37 °C) a 1088 K (815 °C) evitando riesgos en la salud de los trabajadores y minimizando el impacto ambiental para las instalaciones donde se apliquen estos materiales.

Los materiales termoaislantes deben cumplir con los siguientes requisitos<sup>30</sup>:

- Deben ser resistentes al paso de calor dentro del rango de temperatura especificado.
- No deben ser corrosivos para la superficie del metal donde se instalará por lo que el usuario debe especificar el material por aislar.
- Su manejo no debe causar daños al personal por lo que no deben ser tóxicos y deben ser libres de asbesto y no deben ser clasificados como cancerígenos.
- No deben incrementar el riesgo en la instalación, por lo que no deben ser inflamables o combustibles y en caso de exponerse al fuego no deben desprender vapores tóxicos.
- Deben ser clasificados como residuos de manejo especial, tanto el material sobrante de la instalación inicial como el retirado cuando se terminó su tiempo de vida útil. No es permitido el uso de materiales que para su disposición final sean clasificados como residuo peligroso.
- Deben ser resistentes a bacterias y hongos
- Deben mantener sus propiedades, aún sometidos a temperaturas extremas. Después de 96 horas operando en ésta condición, no debe presentar grietas, roturas o disminución de espesor.
- La conductividad térmica debe ser constante a través de la vida útil de los mismos.
- Se requiere que los termoaislantes y materiales complementarios sean, en seco, y con pH alcalino 7.5 como mínimo. Se debe evitar el uso de materiales que al humedecerse adquieran condiciones de acidez para evitar corrosión.
- Debe evitarse el uso de materiales higroscópicos, ya que la presencia de agua genera soluciones de sustancias arrastradas por el vapor ambiental, como cloruros, nitratos y sulfatos, provocando corrosión sobre el acero al carbón y acero inoxidable.

---

<sup>28</sup> Define las características que deben cumplir los materiales termoaislantes para alta temperatura, de manera que permita, dentro de lo tecnológicamente razonable, la conservación del calor y que su manejo no sea peligroso para el personal, no incremente riesgos a las instalaciones por contener materiales inflamables o combustibles y no ser residuos peligrosos tanto el material sobrante de la instalación como el retirado de este cuando envejezca o por otro motivo requiera su reemplazo.

<sup>29</sup> También la norma establece los requisitos técnicos y documentales, para la contratación del diseño, adquisición de materiales y la instalación de un sistema termoaislante.

<sup>30</sup> “Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014 Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales”.

Tabla 8. Materiales para sistemas termoaislantes

Material termoaislante	Tipo genérico	Formas de presentación y aplicación	Especificación ASTM o equivalente
	Fibras Minerales	Colchas	ASTM C592 Tipo II
		Preformado para tubería Placas Cemento Monolítico	ASTM C547 Tipo II ASTM C612 Tipo V ASTM C449
Fibra de vidrio	Fibras Minerales	Colchas Preformado para tubería	ASTM C592 Tipo I ASTM C547 Tipo I
Perlita expandida	Granulares	Preformado para tubería Placas	ASTM C610 ASTM C610
Silicato de calcio	Granulares	Preformado para tubería Placas	ASTM C533 Tipo I ASTM C533 Tipo I y II

Fuente: "NRF-034-PEMEX-2004, Aislamientos Térmicos para Altas Temperaturas en Equipos, Recipientes y Tubería Superficial".

También se pueden apoyar de software especializado, como el 3EPLUS®, el cual es una herramienta de gestión energética desarrollado por la Asociación de Fabricantes de Aislamiento de Norteamérica (NAIMA, por sus siglas en inglés) para simplificar la tarea de determinar la cantidad de aislamiento requerido para una economía en el consumo de combustible, la reducción de emisiones y mejorar la eficiencia energética del sistema de vapor. Para obtener una copia de dicho software, así como los tutoriales para su utilización, se puede consultar en: <http://www.pipeinsulation.org>.

En la Tabla 9 se presenta la evaluación de los beneficios esperados por la colocación de aislamiento térmicos en tuberías que carecen de él, la primera columna hace referencia al diámetro de la tubería, en la segunda se indican las pérdidas asociadas al no contar con aislamiento térmico. Aun y cuando se coloque el aislamiento persistirán pérdidas energéticas, pero esto será de menor impacto, tal y como se indica en la tercera columna. La diferencia del "antes" y el "después" nos arrojarán los beneficios, tanto en términos energéticos como en unidades de suministro.

**Tabla 9. Ahorro de energía por la colocación de aislamiento térmico en tuberías con una temperatura de servicio de 155 °C aplicado la herramienta 3EPLUS**

Diámetro de la tubería, plg.	Pérdidas de energía sin aislamiento		Pérdidas de energía con aislamiento		Ahorro de energía	Ahorro de combustible en unidades de suministro	
	Wh/m h	kJ/m h	Wh/m h	kJ/m h	kJ/mh	litros diésel/ m año	litros GLP/ m año
3/4	204	734	30	107	627	97	131
1	251	903	32	117	786	121	164
1.5	351	1,262	41	147	1,115	172	232
2	431	1,551	47	168	1,382	213	288
3	618	2,226	52	186	2,041	314	425
4	784	2,822	61	221	2,601	401	542

Consideraciones: Temperatura de servicio 155 °C.(4.5 kg/cm<sup>2</sup>).

Aislamiento de fibra de vidrio de 2 plg. de espesor.

Eficiencia de la caldera 80%.

PCI: GLP 26,260 kJ/l y diésel 35,537 kJ/l.

Horas de trabajo: 4,380 horas al año.

## 4) Recuperar el condensado limpio.

### Objetivo de la medida

Recuperar el condensado limpio que se forma en las líneas de distribución de vapor, como el que se genera en los equipos de intercambio de calor (que no tengan contaminación del vapor), con la finalidad de ingresarlo nuevamente a la caldera.

### Problemática encontrada

Por lo general, es frecuente que ni en la línea principal de vapor y/o sus ramales cuentan con piernas colectoras de condensado, o líneas que bajen para recolectarlo. Por otro lado, se ha observado que en algunas instalaciones no existe una práctica común que los equipos consumidores de vapor cuenten con una línea de retorno de condensado, por lo que el condensado retirado por la trampa se canaliza al drenaje. Esto último se aprecia en las instalaciones hospitalarias cuando en los registros de drenaje se percibe el vapor flash que sale de estas.

El recolectar y aprovechar los condensados es una de las medidas más importantes en el mejoramiento del circuito de vapor, ya que se recupera la energía que contiene, toda vez que ésta se encuentra entre los 70 a 90°C, así como se rescata el agua pura que ya ha sido tratada. Con esto se reduce el consumo de combustible en la caldera y se ahorra en el tratamiento químico del agua de reposición.

Es sumamente importante verificar que el condensado no debe de tener contaminación de productos o de algún proceso médico con los que se haya mezclado. El condensado recolectado tiene que ser puro y no aquel que se desecha derivado de una contaminación de proceso por ejemplo el del vapor que entra en contacto directo con material quirúrgico en el área de CEyE.

La importancia de recuperar la energía almacenada el condensado es no gastar más combustible del que se necesita, esto es debido a que si se ingresa agua a la caldera a una temperatura ambiente (20°C), la caldera tendrá que destinar energía (calor sensible) para elevar su temperatura, hasta la de evaporación, que en condiciones normales es de 100°C o más, esto dependerá de la presión a la que se genere el vapor en la caldera.

Es importante destacar que por cada 6°C de aumento en la temperatura del agua de alimentación a la caldera se tendrá aproximadamente el 1% de la economía del combustible.<sup>31</sup>

### Mejores prácticas

La regla es que se debe procurar coleccionar y regresar los condensados al tanque de alimentación del agua a la caldera, a mayor temperatura y a la mayor cantidad posible. En este sentido se debe recolectar el condensado de las líneas de distribución, así como de aquellos equipos que no tengan contacto con material quirúrgico o de cualquier otro tipo, y que solo prevalezca la transferencia de calor por serpentín. Los puntos donde se debe de recolectar el condensado son en los cabezales distribuidores de vapor y en las líneas de distribución de vapor y, en el caso de los equipos se tiene

---

<sup>31</sup> Fuente: CONUEE, “Bases para el ahorro de energía en calderas y sistemas de vapor.”

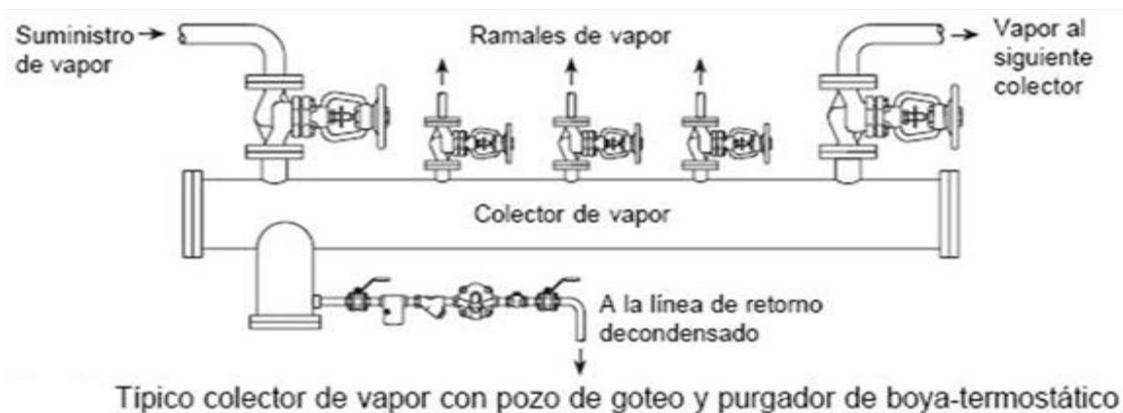
que revisar meticulosamente en donde es factible recuperar el condensado limpio, recordando que no se debe recolectar el contaminado.

Las actividades que el personal de mantenimiento del hospital tiene que llevar a cabo, se encuentran:

1. Realizar un levantamiento de los puntos donde se requiera recuperar el condensado (a continuación, se dan unas recomendaciones genéricas).
2. Trazar las distancias y definir la ruta por donde se instalaría la tubería para el retorno de condensados;
3. Cuantificar cantidad de tubería, trampas de condensados, filtros, válvulas, aislamiento, bombas y demás accesorios.

Dentro de las recomendaciones de recuperación del condensado en el caso de los cabezales distribuidores de vapor (ver Ilustración 9), se debe drenar de una manera similar a las líneas de vapor con un pozo de goteo en la parte inferior del cabezal. Deberá tener una pequeña inclinación hacia el extremo donde se encuentra el pozo, o pierna colectora de condensados.

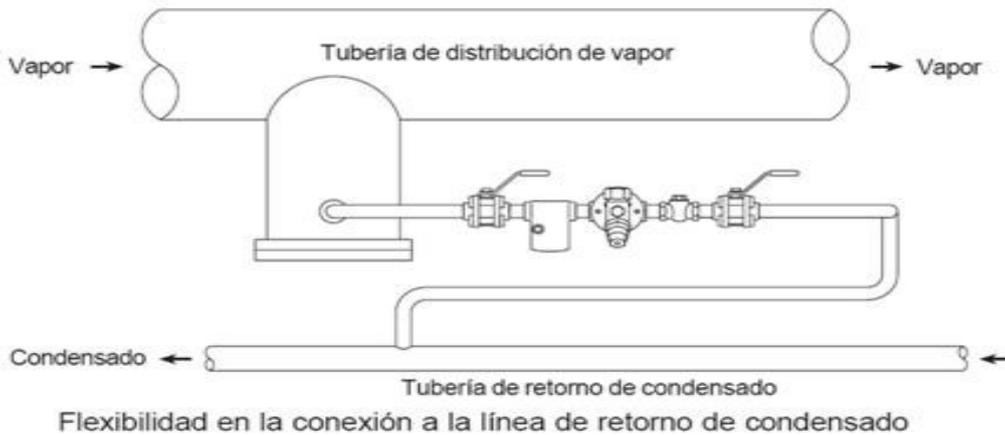
Ilustración 9. Cabezal distribuidor de vapor con sistema de drenado de condensado.



Fuente: Spirax Sarco

En la situación del drenado en una línea principal de vapor, se debe utilizar siempre un pozo/pierna colectora de goteo de tamaño adecuado para permitir la entrada del condensado, que se desplaza con velocidad (Ilustración 10).

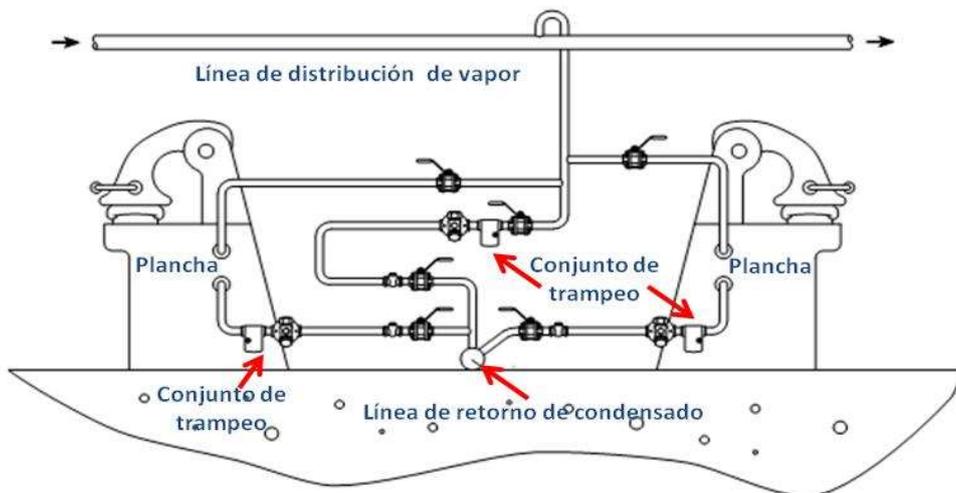
Ilustración 10. Pozo/pierna de goteo en línea de vapor.



Fuente: Spirax Sarco

De los equipos más utilizados en un hospital se encuentran las máquinas para planchar, en estas se pueden utilizar trampas termodinámicas, de boya-termostáticos o de presión equilibrada, es importante que cada plancha tenga su propia trampa (ver Ilustración 11).

Ilustración 11. Trampa de cubeta invertida con eliminador de aire en paralelo.



Fuente: Spirax Sarco

Mientras que los equipos como autoclaves y esterilizadores, por lo general el fabricante ya suministra el equipo necesario, por lo que se tendría que verificar con estos sí el condensado es posible recuperarlo o no.

## 5) Retirar tubería inactiva en la línea de distribución de vapor.

### Objetivo de la medida

Reordenar el sistema de distribución de vapor para que se deje de transportar vapor en donde no se está utilizando.

### Problemática encontrada

Es común encontrar que, debido al reordenamiento de las áreas hospitalarias, los equipos consumidores de vapor se tengan que cambiar del sitio original trasladándose a otros espacios. Esto provoca que, aunque se cambien los equipos y se hagan adecuaciones de las instalaciones, la mayoría de las veces se olvida cancelar o retirar las tuberías originales que distribuí el vapor que alimentaban a dichos equipos, originando en el sitio calentamiento ambiental, pero, sobre todo, al tener la línea de vapor activa se consume vapor y por ende, se consume combustible.

### Mejores prácticas

La propuesta es que cada vez que se efectuó una reconfiguración en la distribución de vapor del hospital, se revise cuáles son las líneas que salen de servicio para que se retiren, o bien, se realice un recorrido por las instalaciones identificando que las líneas son operativas, así como se defina que líneas alimentan que equipos, para con esto se indiquen las líneas de vapor inactivas y se proceda a cancelar su alimentación y, posteriormente su retiro.

## 6) Aplicar un mantenimiento adecuado a las trampas de condensado para evitar su operación en falla abierta.

### Objetivo de la medida

Realizar la inspección y el mantenimiento adecuado a las trampas para evitar que estos operen ineficientemente o existan fugas de vapor por operar en modo de falla abierta.

### Problemática encontrada

Las trampas de condensado (también llamadas trampas de vapor) son válvulas automáticas cuya función es desalojar el condensado, así como ventear aire u otros gases no condensables sin permitir que el vapor vivo escape, manteniendo las condiciones de operación tanto de presión como de temperatura que requiere el proceso. Gracias a la operación correcta de la trampa, se mejora la eficiencia del equipo donde se esté utilizando el vapor, ya que una trampa que este fallando hace que la tubería se anegue, reduciendo la superficie de calefacción. En la Ilustración 12 se muestran los tipos de trampas que son más comunes.

Ilustración 12. Tipos de trampas<sup>32</sup>

a) Termostática



b) Termodinámica



c) Flotador



d) Termostática de presión balanceada



e) Cubeta invertida



<sup>32</sup> **Las termostáticas:** se ajustan automáticamente a las variaciones de la presión del vapor, son trampas con excelentes características en la eliminación de aire durante la puesta en marcha de la planta y funcionamiento normal. Gran capacidad de descarga por su tamaño. Diseño robusto de partes internas que proporcionan una larga vida útil. **Termodinámicas:** éstas tienen una sola parte en movimiento – un disco de acero inoxidable endurecido – dando una descarga intermitente y un cierre perfecto, son capaces de resistir el vapor recalentado, los golpes de ariete, el condensado corrosivo y vibraciones. Son la mejor elección para la eliminación de condensado de sistemas de distribución de vapor.

Las trampas son equipos mecánicos que están sujetos al desgaste por su continua operación, por lo que eventualmente requerirán de mantenimiento para volver a las condiciones originales y prevenir así un fallo en su operación. Existen tres tipos de falla siendo estos:

1. **Falla en posición cerrada.** Se presenta cuando no se drena el condensado y se llena la tubería con agua, el síntoma común es que la eficiencia del equipo decrece dando un síntoma de requerir más vapor del necesario y la temperatura de la trampa es muy baja para ser condensado (trampa fría). El impacto en operación es que se lleva más tiempo para realizar las operaciones.
2. **Falla en posición abierta.** Esta se produce cuando hay fuga de vapor vivo, el cual se aprecia cuando la temperatura del condensado es muy alta (trampa caliente), inclusive se escucha golpe de ariete en la línea de retorno de condensado. También se llega a salir vapor vivo por el tanque de condensado en mayor cantidad del vapor flash. El impacto negativo es que se desperdicia condensado que podría ser recuperado, que tiene un costo tanto del tratamiento del agua como el propio de su temperatura que se refleja en consumo de combustible.
3. **Operación deficiente.** Es una falla tanto en posición cerrada y abierta, esta dependerá del tipo de trampa, ya que se presenta respuesta lenta en el cierre (inicio de la falla en posición cerrada) cierre incompleto (inicio de falla abierta).

Las fallas son debido a:

- **Desgaste:** internamente las partes de las trampas se van desgastando por la erosión que provoca el contacto del metal con el vapor y el agua;
- **Suciedad:** en ciertas ocasiones el vapor llega a arrastrar partículas que se llegan a depositar en las trampas, por lo que las abre parcialmente o las cierra;
- **Corrosión por condensado ácido:** derivado del tipo de tratamiento del agua se puede arrastrar trazas de ácido, por lo que al llegar a ciertos elementos como son las trampas, éstas sufren de corrosión, provocando un mal funcionamiento en ellas;
- **Golpe de ariete:** por el arrastre de condensado a alta velocidad, choca con las partes internas de la trampa, por lo que las daña.

---

**Flotador o de boya:** son trampas muy versátiles, trabajan perfectamente tanto con cargas de condensado grandes como pequeñas, son de tamaño compacto. Capacidad de descarga alta y continua para asegurar una transferencia de calor máxima. Las trampas de boya cerrada son la mejor elección para el drenaje de plantas con control automático de temperatura. Incorporan un elemento termostático eliminador de aire como estándar y un dispositivo antibloqueo por vapor como opción. **Termostática de presión balanceada:** pueden conservar energía al descargar condensado sub enfriado en aquellas aplicaciones que utilizan el calor sensible. Soportan los golpes de ariete y condensado corrosivo. **Cubeta invertida;** son las más robustas de los purgadores mecánicos, resisten los golpes de ariete, además, con una válvula de retención montada en la entrada, pueden ser usadas con vapor recalentado. Se dispone de una amplia gama de orificios de válvula para poder trabajar con distintas presiones y cargas.

Es importante indicar que la operación correcta de una trampa de vapor va desde su selección, la que depende del tipo de equipo u aplicación que se requiera, tal y como se observará más adelante.

### Mejores prácticas

Para dar un mantenimiento correcto a las trampas de vapor, se debe de contar con un programa de mantenimiento, que se compone de los siguientes pasos:

1. Inventario de las trampas de vapor.
2. Inspección de las trampas de vapor.
3. Planeación y programación del mantenimiento.

En el primer punto se debe de contar con un inventario del tipo de trampas de vapor, donde se indique su ubicación y la aplicación (ya sea trampa de equipo, trampa de pierna colectora o de la línea de distribución), presión de operación, diámetro de entrada, marca, modelo, etc. Con esto se puede diseñar una nomenclatura que identifique la trampa con esos elementos.

De acuerdo a este inventario, se procede a realizar una inspección en cada una de ellas, esto para determinar si están trabajando correctamente. Para tal efecto existen distintos métodos, entre los cuales se encuentran: análisis visual, medición de temperatura (termografía), medición de sonido/ultrasonido o la combinación de estos métodos.

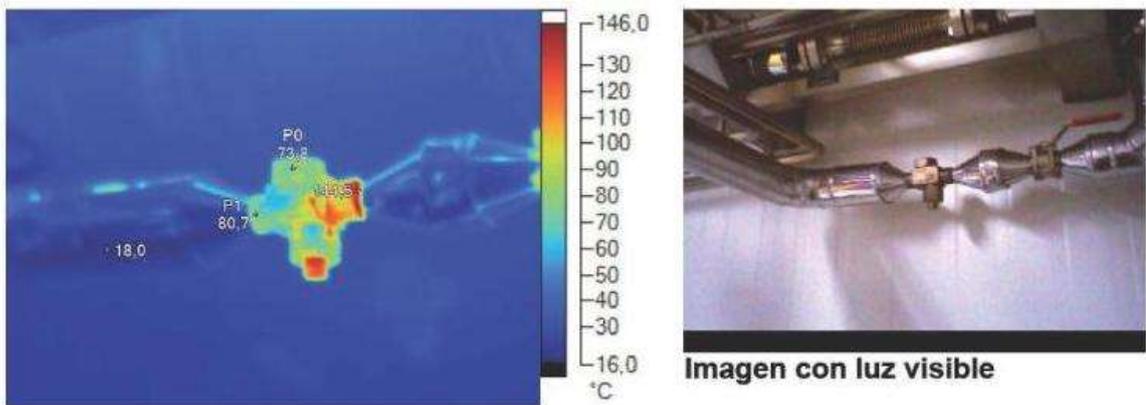
1. **Inspección Visual.** En circuitos cerrados este tipo de inspección solamente se puede llevar a cabo cuando en las trampas de vapor se tenga instalado una mirilla de vidrio. En este caso si el vidrio está limpio (transparente) se aprecia como el condensado fluye, por lo que la trampa opera correctamente, en el caso de que no se vea fluir el condensado y la trampa este fría se encuentra en modo de “fallo cerrado”. Se llega a presentar que el vidrio de la mirilla esta opaco o presenta incrustaciones, esto es síntoma de que el tratamiento de agua no es el correcto.

En el caso de que la trampa no cuente con mirilla y descargue a la atmósfera, se dice que la trampa se encuentra operando correctamente (la trampa en modo cerrado) cuando no desahoga condensado y se aprecia una pequeña vaporización del agua que queda en la tubería de salida. Se identifica visualmente a la trampa que falla en modo semiabierto o abierto, cuando la trampa desaloja el condensado (modo abierto), la trampa falla cuando se aprecia el agua caliente y una niebla mayor (vapor flash).

2. **Inspección por temperatura.** En esta inspección se puede realizar utilizando un termómetro ya sea de contacto o laser, o también la inspección se puede efectuar mediante una cámara termográfica. De acuerdo a la marca de la cámara termográfica estás brindan diferentes tonalidades para diferenciar la escala de temperatura; van del blanco y rojo intenso como temperaturas altas, pasando al naranja y amarillo para temperaturas medias, y del verde y azules al negro para identificar temperaturas bajas.

En la Ilustración 13 se aprecia una trampa operando de manera correcta, en ella se aprecia que en color rojo define el vapor, mientras que este se va enfriando y se forma el condensado, que es en color azul turquesa.

**Ilustración 13. Trampa funcionando de manera correcta.**



Fuente: <http://www.termodinamica.cl/photo/termografia-trampa-para-vapor>

Para el caso de la trampa en falla en posición cerrada, la tubería se anega del condensado provocando la caída de temperatura de la trampa (color azul turquesa), inspeccionando con un termómetro se apreciará que la trampa en su entrada tiene una temperatura baja (color verde) con respecto a la temperatura del condensado aguas debajo de la trampa (color rojo). Vea la Ilustración 14.

**Ilustración 14. Trampa fallando en modo cerrado.**



Fuente: <http://thermalimagers.ie/2013/04/using-our-cameras-for-steam-system-surveys/>

En falla abierta, la temperatura de ambos lados de la trampa es la misma o casi la misma que la del vapor. Esta situación se presenta en la Ilustración 15.

**Ilustración 15. Trampa fallando en modo abierto, la temperatura del condensado debería ronda los 100 °C y la medición nos señala un valor de 147°C.**



Fuente: [Programa MLED](#)

- 3. Inspección por sonido/ultrasonido.** Cuando el condensado fluye por la trampa se produce vibración y por ende un sonido particular, más aún, si la trampa falla en modo de abierto el sonido que provoca la fuga de vapor es similar a un silbido, esto por la velocidad del propio vapor. El método consiste en reconocer la diferencia entre el sonido de una trampa que opera correctamente y el sonido de la trampa con falla.

Para realizar esta prueba se utiliza ya sea un instrumento acústico de medición o se usa una barra de acero con un extremo tocando la tapa de la trampa y el otro extremo tocando el oído. Es posible notar la diferencia en sonidos entre la descarga intermitente de algunas trampas y la descarga continua de otras.

Asimismo, es posible distinguir entre estos sonidos de trampas operando a condiciones normales y el sonido del flujo de vapor a alta velocidad escapándose por la trampa. Se necesita de mucha experiencia para utilizar correctamente este método ya que diversos ruidos y sonidos son transmitidos por las tuberías.

Una vez identificadas las trampas de vapor que operan correctamente y aquellas que se encuentran con alguna falla, se debe de programar su reparación o sustitución. Este último puede ser por un desgaste natural de la trampa o porque la misma está sub dimensionada.

Dependiendo de las marcas de las trampas de vapor, cada fabricante da sus recomendaciones de la frecuencia con la que se debe de realizar el chequeo de las trampas, dependiendo de la presión de trabajo, así como de la aplicación. Como ejemplo se presenta la Tabla 10.

**Tabla 10. Frecuencia anual sugerida para revisión de las trampas.**

Presión de operación (bar)	Aplicación			
	Goteo	Venas	Serpentín	Proceso
0-7	1	1	2	3
7-17	2	2	2	3
13-30	2	2	3	4
30 o más	3	3	4	12

Fuente: Armstrong.

Finalmente, en la Tabla 11 se presenta a continuación una serie de recomendaciones sobre el tipo de trampa vs la aplicación.

**Tabla 11. Selección de trampas vs aplicación.**

Aplicación	Trampas sugerida
Cabezal y tuberías de distribución de vapor.	Flotador
	Termodinámicas (tipo disco).
Equipos calentados con vapor (autoclaves) y esterilizadores.	Flotador
	Cubeta invertida.
	Termostáticas.
Intercambiadores de calor y radiadores de secadoras de ropa	Flotador con termostato.
	Cubeta invertida.

Fuente: Información recolectada de guías de aplicación de trampas de las empresas Armstrong y Spiax Sarco.

## **7) Instalar un sistema de aprovechamiento de energía solar fototérmico para la generación de agua caliente.**

### **Objetivo de la medida**

Aprovechar la energía solar para el calentamiento de agua mediante un sistema de colectores solares y reducir el consumo de combustible.

### **Problemática encontrada**

Uno de los consumos importantes de combustible es el que se requiere para producir agua caliente, que se destina a las diferentes operaciones del hospital, para uso sanitario, para la cocina, la lavandería u otros usos. Para generar esta agua caliente, ya sea que se utilice generadores de agua caliente o bien, mediante termo tanques de almacenamiento en cuyo interior se cuentan con serpentines que calienten el agua con el vapor generado en una caldera. A estos se les define como sistemas tradicionales.

Una de las formas de reducir el consumo de energía de los referidos sistemas tradicionales es a través del aprovechamiento de la energía solar para calentar o precalentar el agua y, con ello, reducir el consumo de combustibles, así como mitigar los contaminantes.

### **Mejores prácticas**

Alrededor de tres cuartas partes del territorio nacional son zonas con una insolación media del orden de los 5 kWh/m<sup>2</sup>-día. Es decir, por cada metro cuadrado se está recibiendo al día la energía que consumirían en una hora 50 focos incandescentes de 100 W. Por lo que el potencial de energía solar de México es uno de los más altos a nivel mundial.

Para aprovechar esta energía renovable y calentar agua con ella, se utilizan colectores solares de los cuales existen tres tipos de tecnologías, cada tecnología tiene su aplicación específica y varía su costo en relación a la eficiencia de cada uno de ellos. En la Ilustración 16 se muestran estas tres tecnologías. La primera es un colector de tubos de cobre aletados con caja de aluminio, este se aplica en todos los proyectos de calentamiento de agua; la segunda es de co-polímero, son utilizados fundamentalmente para calentamiento de agua en albercas; finalmente los de tubos evacuados son los más eficientes de los tres.

Ilustración 16. Tecnología de colectores solares.



Fuente: Cursos de capacitación de la norma solar, USAID.

Tabla 12. Clasificación de colectores solares por el rango de temperatura de trabajo.

Tipo de colector	Temperatura, °C	Clasificación	Aplicaciones
Tubos evacuados.	Hasta 150	Alta temperatura.	Usos sanitarios, procesos de limpieza, esterilización, entre otros.
Tubos de cobre aletados con caja de aluminio y cubierta de vidrio	Hasta 90	Media temperatura.	Uso sanitario, procesos de limpieza, climatización de albercas, entre otros.
Co-polímero	Hasta 50	Baja temperatura.	Climatización de albercas.

Fuente: Elaboración propia con información de especificaciones de colectores solares de diferentes fabricantes.

El sistema fototérmico se muestra en la Ilustración 17. El agua municipal llega como repuesto a un termo tanque (tanque con aislamiento térmico) y es bombeada al sistema solar; el agua pasa por los colectores y absorbe la energía solar calentándola. Regresa el agua al termo tanque repitiendo el ciclo de calentamiento hasta alcanzar la temperatura deseada para, posteriormente, distribuirse al usuario. De forma paralela existe un sistema de calentamiento tradicional como respaldo al sistema de calentamiento solar, el cual puede ser, como se mencionó anteriormente, un generador de agua

caliente o una caldera. Es ampliamente recomendable siempre que se instala un sistema fototérmico, se deja de respaldo el sistema tradicional. Los elementos que los hospitales deben de vigilar al momento de instalar un sistema de este tipo es que:

- Exista el suficiente espacio disponible en las azoteas (generalmente en la casa de máquinas u otras áreas cercanas) para la instalación de los colectores y termotanque (en caso de ser necesario), además de verificar que la distancia de este espacio disponible al cuarto de máquinas no sea muy larga.
- La orientación del inmueble y su cercanía con edificios, árboles u otro tipo de estructuras que generen sombra en las áreas seleccionadas para colocar los colectores.
- La estructura del techo sea adecuada para soportar tanto las cargas muertas, así como vuelcos por viento; entre otras cargas producto de otros equipos y/o elementos que soporte dicho techo.

Ilustración 17. Sistema fototérmico y sistema tradicional de calentamiento de agua.



Fuente: Cursos de capacitación de la norma solar, USAID

Para mayor detalle se puede consultar el “Manual de Instalaciones para el Calentamiento de Agua mediante el Aprovechamiento de la Energía Solar” publicado por la Secretaria de Medio Ambiente

del Gobierno del Distrito Federal. Este tipo de tecnologías usualmente permiten obtener un ahorro del 15% - 30% sobre la facturación total del combustible, con una rentabilidad de 3-5 años; todo ello dependerá del volumen de agua caliente que se consume en la instalación hospitalaria, el tipo de combustible empleado en el sistema tradicional y la capacidad del sistema de calentamiento de agua solar.

Un hospital al momento de ejecutar un proyecto de este tipo, se sugiere contemplar cuatro etapas, desde el diseño de la ingeniería del sistema, la fase de construcción e instalación, su puesta a punto y en marcha, hasta la entrega de las instalaciones y el monitoreo para la evaluación del desempeño energético y operacional. Dichas etapas son:

#### ***ETAPA I. De la Ingeniería del Sistema Solar***

1. El diseño, la ingeniería básica y de detalle de un sistema de calentamiento de agua mediante el aprovechamiento de la energía solar, que contemple:
  - a) El diseño térmico, hidráulico, estructural, eléctrico y de control del sistema solar.
  - b) Catálogo de conceptos de equipos y materiales que integran el sistema solar.
  - c) Especificaciones técnicas de cada uno de los equipos y materiales que integran el sistema solar, así como los demás materiales que se emplearían en el momento de la instalación del mismo sistema.

#### ***ETAPA II. De la Construcción e Instalación de Equipos***

1. El suministro de equipos y materiales, cubriendo los costos de los transportes que se requieran, seguros, aranceles, impuestos y manejo aduanal.
2. La tramitación de los permisos conducentes a la instalación y/o construcción del sistema solar, haciéndose totalmente responsable de los trámites administrativos y regulatorios locales y federales que requieran el proyecto.
3. Calendario de actividades que se desarrollaran durante la instalación del campo de colectores y demás elementos que integren el sistema.
4. La construcción y la instalación del sistema solar y sus equipos periféricos y auxiliares.
5. Del registro y bitácora de obra.
6. Del manejo de los residuos sólidos generados durante los trabajos de construcción.

#### ***ETAPA 3. De la Puesta en Marcha y Apunto del Sistema Solar y su Entrega-Recepción a la Autoridad Hospitalaria***

1. De las pruebas de arranque operativa y de la puesta a punto del sistema solar y sus equipos de medición y monitoreo, que se requieran para asegurar que su operación sea eficiente y segura.
2. De la entrega de registros y bitácora de obra.
3. Del Visto Bueno de Operación.

***ETAPA 4. Del Apoyo Técnico para el Monitoreo y de las Garantías***

1. La capacitación en la operación, mantenimiento y monitoreo del sistema, así como el apoyo técnico post instalación de al menos un año.
2. Garantizar el suministro de las refacciones que requiera el sistema, cuyo horizonte sea de al menos 20 años.

Las normas que se aplican en este tipo de proyectos son:

NMX-ES-001-NORMEX-2005, rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua (métodos de prueba y etiquetado).

NMX-ES-003-NORMEX-2008, esta norma establece los requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos para el calentamiento de agua.

NMX-ES-004-NORMEX-2010, evaluación térmica de sistemas solares para el calentamiento de agua (método prueba).

NADF-008-AMBT-2006, especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en nuevos establecimientos del Distrito Federal. Establece los requerimientos mínimos de calidad, las especificaciones técnicas de instalación, funcionamiento y mantenimiento de la calefacción de agua a través de la energía solar.

## 8) Sustitución de caldera<sup>33</sup>.

### Objetivo de la medida

Sustituir la caldera que se encuentre operando con un bajo factor de carga por una caldera nueva de mayor eficiencia y adecuada a las necesidades la demanda de vapor.

### Problemática encontrada

En los sistemas de generación de vapor es común encontrar que las calderas se encuentren sobredimensionadas con respecto a las necesidades reales de vapor. Esta situación se da porque los diseñadores de los sistemas sobredimensionan las calderas para dar un amplio margen de respaldo en el caso de que se requiera cubrir una mayor demanda de vapor (picos de demanda de vapor asociados a la operación simultanea de los usuarios del mismo), así como las sobredimensionan pensando en los crecimientos futuros. La realidad es que no se crece como tal y el sobredimensionamiento llega ser más del 100%, dando como consecuencia que la caldera opere a un bajo factor de carga (10% - 50% de la capacidad nominal) y en consecuencia, a una baja eficiencia de generación de vapor. Además de que la caldera constantemente este encendiendo y apagando.

El motivo de mayor impacto que puede justificar técnica-económicamente la sustitución es cuando se presenta deterioros importantes y que hagan que su operación no sea muy segura, tales como fragilización del metal por mal tratamiento del agua, continuas reparaciones de los espejos por fugas, fugas en fluxes, abombamiento en cuerpo. Además de que su eficiencia haya bajado considerablemente, esto porque ya no hay piezas del conjunto quemador y se fabriquen en talleres, lo cual impactaría en costos elevados por el consumo del combustible, y cuando las reparaciones sean muy costosas se debería de evaluar la posibilidad de sustituirla.

### Mejores prácticas

Con base en el perfil de la demanda de vapor se establece los requerimientos de la instalación y tomando en consideración las condiciones de operación se puede determinar la capacidad de la caldera. Las calderas actuales tienen eficiencias del 86%, mientras que una caldera ya con años de operación y con un mantenimiento no muy adecuado su eficiencia puede bajar entre un 75 a 70%. Justamente este diferencial de eficiencia es relevante en el consumo del combustible, ya que entre más eficiente es una caldera menor consumo tendrá.

Al momento de cambiar la caldera se deberá tomar en cuenta la demanda de vapor, así como las dimensiones del lugar, los equipos auxiliares que la nueva caldera requerirá, así también se debe verificar si el tratamiento de agua actual satisface los requerimientos de la nueva caldera. Las siguientes disposiciones se deben de cumplimentar al sustituir la caldera:

---

<sup>33</sup> En la medida se toman elementos de: 1) Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, en su artículo 29, fracción II, artículo. 2) LINEAMIENTOS de operación para el otorgamiento de las autorizaciones de funcionamiento de los recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas. 3) NOM-020-STPS-2011, Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - Funcionamiento - Condiciones de Seguridad.

- Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo, en su artículo 29, fracción II, artículo 30.
- LINEAMIENTOS de operación para el otorgamiento de las autorizaciones de funcionamiento de los recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas<sup>34</sup>.
- NOM-020-STPS-2011, Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - Funcionamiento - Condiciones de Seguridad<sup>35</sup>.

Los requisitos de seguridad para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas en los centros de trabajo, a fin de prevenir riesgos a los trabajadores y daños en las instalaciones se establecen en la norma NOM-020-STPS-2011.

En dicha norma evalúa y verifica que las variables de funcionamiento de los equipos, que incluyen los límites de presión y temperatura aceptados y reconocidos como seguros, de acuerdo con las características de diseño y fabricación, y que no activan los dispositivos de seguridad ni sobrepasan los rangos de seguridad de sus instrumentos de control. Dentro de la supervisión de seguridad que se debe de aplicar a las calderas, se tiene que verificar los siguientes puntos:

- a) Contar con los dispositivos de relevo de presión e instrumentos de control que registren los límites de operación segura;
- b) Tener calibrados sus dispositivos de seguridad de acuerdo con el programa de calibración, así como sujetarse a los de revisión y mantenimiento;
- c) Contar con instrumentos de medición de presión, y que el rango de medición se encuentre entre 1.5 y 4 veces la presión de operación, o en el segundo tercio de la escala de la carátula;
- d) Contar con dispositivos de relevo de presión instalados en el cuerpo y no en conexiones remotas;
- e) Prohibir la colocación de válvulas de cierre entre el equipo y los dispositivos de relevo de presión;
- f) Contar con los elementos de seguridad para evitar que operen en condiciones críticas por combustión, presión y/o nivel de agua;
- g) Mantener los instrumentos de control en condiciones que garanticen una operación segura;
- h) Revisar y probar periódicamente su funcionamiento;
- i) Verificar que el sistema de arranque y control de combustión se encuentre en buen estado para realizar el barrido de gases, previo al arranque, paro normal o en caso de una falla;
- j) Verificar que, en el sistema de arranque y control de combustión, en caso de falla por combustión, se bloquee automáticamente el suministro de combustible, se accione la alarma de falla por combustión, se evite un reencendido automático y se mantenga el monitoreo continuo de flama;

---

<sup>34</sup> DOF, viernes 30 de noviembre de 2012.

<sup>35</sup> DOF, 27 de diciembre de 2011.

- k) Constatar, según aplique, el adecuado funcionamiento de los elementos de seguridad para el nivel de agua, a fin de que:
- 1) Se cubra como nivel mínimo de agua el especificado por el fabricante;
  - 2) Se cuente con referencias visuales del nivel, colocadas de manera que la parte visible más baja del mismo se encuentre al nivel mínimo de agua;
  - 3) Los sistemas de protección mecánica sean los adecuados para los indicadores de nivel, y
  - 4) Cuando los sistemas de protección sean externos al cuerpo de la caldera o generador de vapor, estén provistos de purgas con conexión para el desagüe seguro;
- l) Verificar en los dispositivos de relevo de presión, según aplique, lo siguiente:
- 1) Que estén accesibles y libres de obstáculos que impidan las maniobras del operador;
  - 2) Que la presión de calibración nunca sea mayor a la presión máxima de trabajo permitida;
  - 3) Que el área de desfogue calculada para la descarga sea igual o menor a la suma de las áreas de desfogue de los dispositivos de relevo de presión instalados;
  - 4) Que sus conexiones sean independientes a cualquier otra conexión de vapor;
  - 5) Que estén colocados lo más cerca posible del generador de vapor o caldera y que, en ningún caso, se cuente con válvulas de cierre entre ambos;
  - 6) Que el tubo de descarga de los dispositivos de relevo de presión no descargue a zonas de tránsito, de maniobras o de andamios de trabajo;
  - 7) Que el tubo de descarga tenga un área igual o mayor a la del dispositivo de relevo de presión;
  - 8) Que estén equipados con dispositivos de desagüe que eviten la acumulación de sedimentos en la parte superior del dispositivo de relevo de presión;
  - 9) Que cuando se coloque un codo para la descarga del dispositivo de relevo de presión se encuentre a una distancia no mayor de 60 cm de éste, y el tubo esté fijo de forma independiente al dispositivo, y
  - 10) Que cuando se usen silenciadores en la válvula, su área de salida sea amplia para evitar que la contrapresión entorpezca la operación o disminuya la capacidad de descarga;
- m) Verificar de los sistemas de purgas, lo siguiente:
- 1) Que permanezcan limpios los accesorios y elementos de control/seguridad, con la finalidad de evitar acumulaciones de residuos o formación de sedimentos que obstaculicen su operación, y
  - 2) Que la descarga de las purgas se dirija a fosas de purgas y/o sistemas que permitan la reducción y amortiguación de la presión de descarga y el enfriamiento de los fluidos, y
- n) Prevenir la formación de incrustaciones, oxidación o corrosión progresiva por la formación de zonas térmicas críticas que debiliten materiales o uniones en el cuerpo del equipo.

En caso de que se realicen mantenimientos mayores a las calderas, por cambio de fluexs, o inclusive reparación en espejos, en cualquiera de esto se debe realizar exámenes dos tipos de exámenes, las pruebas hidrostáticas o hidrostáticas-neumáticas y los ensayos no destructivos (END). En donde se debe deberán cumplir con los requerimientos siguientes:

- a) Ser realizados con la periodicidad que determine el personal calificado en la materia designado por el patrón, la cual no deberá ser en ningún caso mayor de cinco años;
- b) Ser seleccionados con base en:
  - 1) Los resultados de las revisiones a los equipos;
  - 2) Las características de los fluidos que manejen, y
  - 3) La factibilidad de su aplicación;
- c) Ser efectuados con apego a los requisitos y/o lineamientos establecidos en códigos o normas aceptados nacional o internacionalmente;
- d) Ser ejecutados con las medidas de seguridad requeridas antes, durante y después de su realización, según aplique;
- e) Ser desarrollados paso a paso con base en los procedimientos diseñados para su ejecución;
- f) Ser ejecutados por personal certificado, cuando se trate de ensayos no destructivos, y por un ingeniero con conocimientos en la materia, cuando se trate de pruebas de presión;
- g) Ser aplicados los criterios de aceptación/rechazo, a los resultados de las pruebas de presión y/o ensayos no destructivos;
- h) Servir de base para determinar, después de su ejecución, si los equipos evaluados pueden o no continuar en funcionamiento;
- i) Estar avalados sus resultados por personal certificado, mediante su nombre y firma, cuando se trate de exámenes no destructivos, y por un ingeniero con conocimientos en la materia, tratándose de pruebas de presión;
- j) Realizarse en presencia de una unidad de verificación tipo "A", "B" o "C", tratándose de los equipos clasificados en la Categoría III, y
- k) Registrar sus resultados.

Los END permiten realizar de manera indirecta el análisis del estado en que se encuentran los materiales que constituyen un equipo para continuar soportando las condiciones de su uso frecuente. De esta manera, se puede también conocer la seguridad con la que pueden continuar operando dichos equipos. Son ensayos practicados al material de un equipo y/o a sus uniones, que no alteran de manera permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de la caldera; tienen por finalidad verificar la integridad de los equipos, materiales, componentes o soldaduras, en cuanto a la presencia de discontinuidades internas o superficiales.

Si bien los exámenes no destructivos son técnicas de gran ayuda, requieren que se consideren, antes de seleccionar su aplicación, sus alcances, limitaciones, ventajas y desventajas. Los exámenes no destructivos, también conocidos como ensayos no destructivos (END), pueden ser los siguientes, entre otros:

- Ultrasonido (medición de espesores y detección de fallas), UT;

- Radiografiado, RT;
- Neurografía, NRT;
- Emisión acústica, EAT;
- Líquidos penetrantes, PT;
- Electromagnetismo (Corrientes de Eddy), ET;
- Partículas magnéticas, MT;
- Hermeticidad, LT, e
- Inspección visual, VT.

Como ejemplo en la Ilustración 18 se presenta una sustitución de caldera, la fotografía de la izquierda es la caldera que se sustituyó y la fotografía de la izquierda es la cadera de más alta eficiencia.

Ilustración 18. Sustitución de calderas



Fuente: Programa MLED

Usualmente la rentabilidad de su reemplazo ronda los 4-6 años; nuevamente las condiciones de la caldera actual y los requerimientos reales de vapor, darán la pauta para la evaluación técnica y económica de dicha sustitución.

## 9) Gestión de la demanda de vapor.

### Objetivo de la medida

Implementar un horario de trabajo para los usuarios del vapor, a fin de administrar la operación del generador de vapor para una operación económica y eficiente.

### Problemática encontrada

En los hospitales comúnmente las calderas operan las 24 horas del día sin que se requiera vapor de manera continua durante dicho periodo, esto hace que la caldera trabaje sólo para mantener la presión en toda la instalación de vapor, lo que favorece y alimenta la presencia de fugas en la instalación de vapor (en válvulas, en uniones, en tuberías, en trampas con falla abierta), entre otros dispendios innecesario, por lo que se está consumiendo más combustible y perdiendo energía sin ningún provecho.

### Mejores prácticas

Con base en el perfil de la demanda de vapor que es cuándo y cuánto vapor se requiere, se puede definir el horario en el cual se brindará el servicio. Para ello se debe identificar los requerimientos de cada uno de los usuarios, ya que no se puede dejar de brindar el servicio de vapor por razones de seguridad. Hay experiencia práctica que en hospitales medianos se ha logrado establecer un horario del servicio de vapor, reduciendo considerablemente el consumo de combustible.

Esta es una de las prácticas más rentables y que no requieren de grandes inversiones, más que definir la demanda de vapor y coordinar con las áreas usuarias el horario del servicio del vapor. Es una tarea ardua reforzar la capacitación y sensibilización del personal usuario del vapor, para que conozca los beneficios asociados a esta práctica, y para identificar esta administración de la demanda, analizando la forma de proceder para que no afecte en ningún momento la operación propia de la instalación hospitalaria y de los servicios prestados.

## 10) Reparación de fugas de vapor en las líneas.

### Objetivo de la medida

Reparar las fugas de vapor tanto en las líneas de vapor, accesorios y equipos consumidores de vapor.

### Problemática encontrada

Uno de los problemas que se presenta en el sistema de distribución de vapor, es que en las líneas de vapor, venas de vapor, válvulas, bridas, uniones, tanques de proceso, intercambiadores de calor, serpentines, etc., por su uso existe la presencia de fugas de vapor, llamado por algunos como “vapor vivo”, el cual es “invisible”, pero ruidoso y con alta temperatura. El mantener dichas fugas en el sistema de vapor además de ser pérdidas de energía y de agua tratada, acarrea problemas de seguridad laboral. El reparar las fugas de vapor trae como beneficio, por una parte, el ahorro de energía, dado que el vapor tiene un alto valor energético, y por otra parte, se deja de desperdiciar agua tratada, además que se reduce el riesgo laboral. Esta práctica se enmarca dentro de las actividades de mantenimiento y mejoramiento de instalaciones.

### Mejores prácticas

Reparar las fugas de vapor logra eliminar problemas de pérdidas de energía y agua, así como reducir el riesgo laboral, por lo que se recomienda llevar a cabo un programa de inspección para detectar fugas en la línea de vapor y/o en los equipos de proceso. Esta práctica debe estar enmarcada en el programa de mantenimiento.

Con esta medida se busca evitar costos de operación innecesarios, así como evitar problemas colaterales, tales como daños en el sistema termoaislante en las líneas de vapor, en válvulas y accesorios, así como en equipos de proceso y la contaminación de condensados de vapor. Los puntos de mejora que se presentan comúnmente en las líneas de distribución de vapor, son las siguientes:

- Reparar fugas en las tuberías de distribución de vapor y retorno de condensados;<sup>36</sup>
- Reparar fugas en equipos de proceso.<sup>37</sup>

Los beneficios económicos al reparar las fugas de vapor se traducen en dos sentidos, que son:

- Ahorro en consumo de combustible;
- Ahorro en consumo de químicos de tratamiento de agua.

De acuerdo a referencias de empresas fabricantes de sistemas de trampas para condensados, las pérdidas normales de “agua” en el circuito de vapor/condensados de una empresa no deberían

---

<sup>36</sup> Fugas en tuberías, válvulas, bridas, reguladores de presión, medidores de presión, etc.

<sup>37</sup> Según el tipo de proceso que se esté llevando a cabo, las tuberías de vapor que son utilizadas al interior de los tanques de calentamiento, almacenamiento, o intercambiadores de calor, pueden presentar fugas de vapor, que, al mismo tiempo de perder este valioso recurso, se puede introducir parte del producto en dichas líneas, por lo que se combina provocando que el condensado se contamine y no pueda ser retornado a la caldera.

superar el 5%<sup>38</sup>, siendo estas pérdidas debidas a venteos y purgas de la caldera básicamente, sin existir fugas de vapor, ya que éstas son fallas en el sistema y no deberían de existir, por lo que si se tiene que reponer más de un 5% de agua en el sistema, es altamente probable que existan fugas que pueden ser de vapor o de condensados.

Para tener una idea de los impactos en las fugas de vapor, en la Tabla 13 se presenta las pérdidas de vapor en función de la altura de la pluma<sup>39</sup>. En la primera columna se presenta la altura de la pluma en función de la presión. Como ejemplo, tenemos que si la presión en la línea es de 8.1 kg/cm y la pluma tiene una distancia de aproximadamente 91 centímetros, en condiciones de una temperatura ambiente de 32.2°C, las pérdidas de vapor son de 22.72 kg<sub>vapor</sub> por hora.

**Tabla 13. Pérdida de vapor (Método por altura de pluma)**

Altura de la pluma		Pérdida de vapor kg/hr					
		7.2°C ambiente		21.1°C ambiente		32.2°C Ambiente	
<b>8.1 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>(115 psi)</b>						
0.91	3 ft	4.54	(10)	13.63	(30)	22.72	(50)
1.83	6 ft	13.63	(30)	27.27	(170)	127.27	(280)
2.74	9 ft	31.81	(70)	190.90	(420)	318.18	(700)
3.66	12 ft	50.00	(110)	295.45	(660)	500	(1,100)
<b>29.2 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>(115 psi)</b>						
0.91	3 ft	9.09	(20)	15.90	(35)	22.72	(50)
1.83	6 ft	22.72	(50)	77.27	(170)	131.81	(290)
2.74	9 ft	59.09	(130)	277.27	(500)	363.63	(800)
3.66	12 ft	100.00	(220)	395.45	(870)	636.36	(1,400)

Fuente: CONUEE Guía de vapor para la industria

Las acciones que deben de llevar a cabo en la planta para la implementación de esta medida se describen en la Tabla 14, las cuales lo podrán llevar a cabo por personal encargado del mantenimiento.

**Tabla 14. Lista de actividades para la reparación de fugas de vapor**

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
1	Levantamiento de un layout de los sistemas de generación de vapor, de	Una práctica recomendable es contar con un layout, tanto de la ubicación de los equipos que integran el sistema de	1. Sistema de generación de vapor; (cuarto o casa de caldera);

<sup>38</sup> Dato proporcionado por Spirax Sarco

<sup>39</sup> Se entiende como altura de pluma a la longitud que alcanza la fuga de vapor.

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
	distribución y de usuarios	<p>generación de vapor, como de las líneas de distribución de vapor y la ubicación de los equipos que utilizan el vapor. Ya que con esta acción se logra:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar la ubicación de los equipos que integran el sistema de generación de vapor, así como es conducente conocer sus datos de placa;</li> <li>2. Conocer la cantidad y ubicación de los elementos que integran el sistema de distribución de vapor, tales como cabezales distribuidores de vapor, válvulas, reguladores de presión, manómetros, termómetros;</li> <li>3. Identificar las áreas donde se encuentran los equipos consumidores de vapor y obtener sus datos de placa. Además, identificar la línea de retorno de condensados, con el propósito de ubicar, identificar y cuantificar la cantidad de trampas de vapor, tanques de almacenamiento y de bombas de retorno de condensados;</li> <li>4. Una vez obtenido tanto los layout, como el listado, ordenar y controlar cada uno de los elementos, para lo que se debe asignar una codificación. Con ello se podrá facilitar el recorrido de inspección. En este sentido, se recomienda colocar a cada uno de los elementos, identificados y codificados, una placa, con sus datos para que al momento de llevar a cabo la inspección, esta tarea sea mucho más fácil.</li> </ol> <p><u>También es importante contar con un balance/registro del agua nueva suministrada.</u></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Sistema de distribución de vapor;</li> <li>3. Equipos que usan vapor.</li> </ol>
2	Recorridos de inspección programadas a los sistemas de generación de vapor, de distribución y de usuarios	<p>Las herramientas para llevar a cabo los recorridos de inspección son:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planos o layout con la codificación de los equipos y elementos a revisar;</li> <li>2. Listado de equipos y elementos para identificar el tipo de mantenimiento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema de generación de vapor; (cuarto o casa de caldera);</li> <li>2. Sistema de distribución de vapor;</li> <li>3. Equipos que usan vapor.</li> </ol>

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
3	Programación de actividades de mantenimiento para la reparación de las fugas de vapor	<p>De acuerdo a los resultados de la inspección y a la complejidad de las reparaciones, éstas se deberán programar en función de:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La ubicación de la fuga;</li> <li>2. La complejidad de la fuga;</li> <li>3. El tipo de operación.</li> </ol> <p>Nunca se repare cuando el proceso se encuentre operando, ya que al hacer cualquier maniobra y estando presurizado el sistema, se provocan altos riesgos laborales.</p>	Departamento de mantenimiento
4	Reparación de fugas	<p>Por lo general, las reparaciones de fugas no son complicadas en los accesorios y elementos que integran el sistema de distribución de vapor. Por lo regular las reparaciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de juntas;</li> <li>• Ajuste de vástagos;</li> <li>• Cambio de sección de tubería, esto en lugar de únicamente soldar la sección que presenta la fuga;</li> <li>• Sustitución de accesorios (válvula, regulador de presión, etc.).</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema de generación de vapor; (cuarto o casa de caldera);</li> <li>2. Sistema de distribución de vapor;</li> <li>3. Equipos que usan vapor.</li> </ol>

## 11) Desincrustación de la caldera

### Objetivo de la medida

Desincrustar la caldera como parte del mantenimiento preventivo a fin de que la operación del generador de vapor sea más eficiente.

### Problemática encontrada

El no contar con un adecuado monitoreo y tratamiento del agua, que ingresa a la caldera, provoca que ciertas sustancias que son arrastradas por el agua de alimentación, se depositen en los fluxes,<sup>40</sup> haciendo que se formen incrustaciones en sus paredes. Las incrustaciones aparecen cuando el calcio, el magnesio y la sílice (presentes normalmente en la mayoría de los suministros de agua), reaccionan y forman una película continua de material, en el lado del agua de los tubos de la caldera.

Las incrustaciones en las superficies de contacto en los fluxes, inhiben la transferencia de calor<sup>41</sup> de los productos de la combustión al agua de la caldera y, por lo tanto, llevan a menores eficiencias de generación de vapor.

Es normal que con el paso del tiempo se vaya formando una capa de incrustación,<sup>42</sup> cuya naturaleza depende de los elementos presentes en el agua interna, así como del tipo de tratamiento que se le dé al agua y las condiciones de operación de la caldera.

Por ello, al momento de presentarse incrustaciones, el consumo de combustible se incrementa en forma directamente proporcional al espesor de la capa de incrustación.

El no llevar a cabo un buen control en el tratamiento de agua, así como el no realizar una limpieza profunda a la caldera, trae como consecuencias:

- **Incrementar la corrosión**, ya que puede haber presencia de oxígeno disuelto o de dióxido de carbono que torna al agua ligeramente ácida, lo que acelera el proceso de oxidación;
- **Provocar que el metal se vuelva quebradizo**, una alta alcalinidad en el agua de la caldera puede ser la causa de que el metal se vuelva quebradizo, agrietándose alrededor de los remaches y en extremidades de los tubos donde se fijan en los espejos, por lo que hay que cuidar que el tratamiento no vuelva alcalina al agua;
- **Incrementar el consumo de combustible**, toda vez que la incrustación forma una capa aislante en los tubos, hace que no exista una buena eficiencia en la transferencia de calor, por lo que la caldera aumenta su régimen y, por ende, el consumo de combustible para poder producir el vapor que necesita el proceso.

---

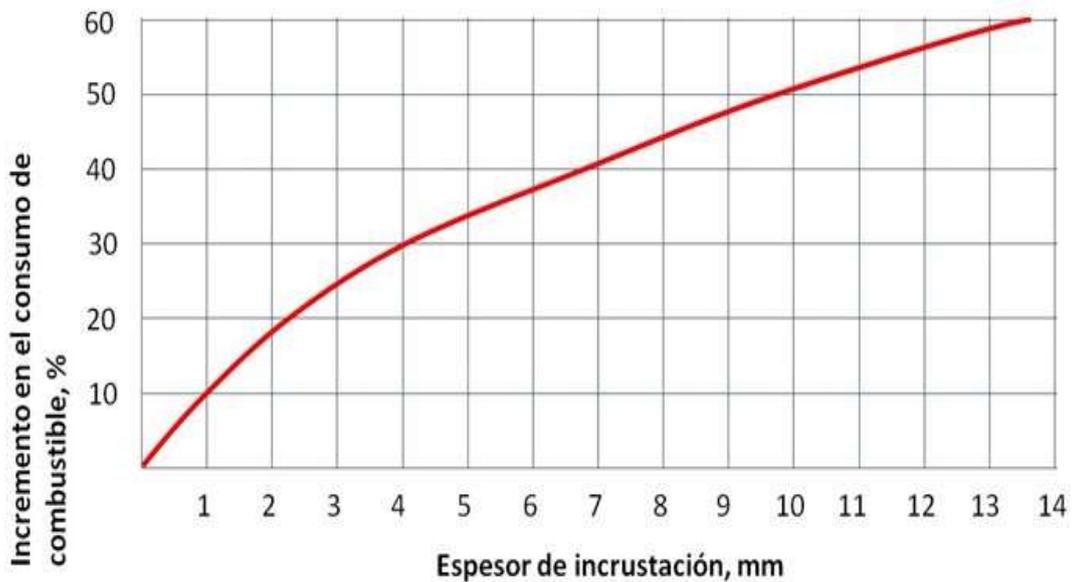
<sup>40</sup> Los fluxes son la tubería, ya sea que transportan agua o los gases de combustión.

<sup>41</sup> Las incrustaciones poseen una conductividad térmica menor que la del acero con el que están hechos los tubos. Incluso, las capas de incrustación delgadas funcionan como un aislante y retardan la transferencia de calor. Como resultado, se produce un sobrecalentamiento en los tubos de la caldera, pérdida de la eficiencia energética y hasta llegan a romperse los tubos.

<sup>42</sup> Por lo general, en aplicaciones de baja presión. Las incrustaciones de hierro y las de hierro - sílice aparecen en aplicaciones en alta presión.

En la Gráfica 2 se muestran las pérdidas de energía en función del espesor y composición de la incrustación, donde se podrá observar que, conforme el espesor de la incrustación es mayor, el consumo en el combustible también es mayor.

**Gráfica 2. Curva de incremento en el consumo de combustible respecto al incremento en el espesor de la incrustación en mm.**



Fuente: Cek de Centroamérica, "Minimizando impactos ambientales y económicos de a través de manejos de caldera de vapor y sistemas de enfriamientos"

### Mejores prácticas

La desincrustación en las tuberías internas de la caldera (fluxes) es una medida correctiva de mantenimiento, la cual se debe practicar cuando se da mantenimiento general a la caldera. Con el objetivo de reducir las incrustaciones para mejorar la transmisión de calor y así incrementar la eficiencia de la caldera, se recomienda:

1. Llevar a cabo un correcto tratamiento del agua de ingreso a la caldera;
2. Realizar periódicamente una desincrustación a la caldera, ya sea mediante lavado manual o tratamiento químico.

La experiencia ha demostrado que el desperdicio de combustible que ocasiona la incrustación puede llegar a ser del 0.3% al 3.1%. En la Tabla 15, se muestran las pérdidas de energía en función del espesor y composición de la incrustación.

**Tabla 15. Pérdidas de energía por incrustaciones**

Espesor de incrustación		Pérdida de combustible (%)		
		Tipo de incrustación		
plg	Mm	"Normal"	Hierro	Hierro y Sílice
1/64	0.4	1.0	1.6	3.5
1/32	0.8	2.0	3.1	7
3/34	1.2	3.0	4.7	--
1/16	1.6	3.9	6.2	--

Fuente: CONUEE. Consejos para ahorrar energía en sistemas de vapor, pág. 9

Las acciones que se tienen que llevar a cabo son las siguientes:

**Tabla 16. Lista de actividades a desarrollar para disminuir la formación de incrustaciones en la caldera**

No	Actividad	Desarrollo	Sitio
1	Monitorear el agua de alimentación a la caldera y la purga de la caldera.	Mantener los límites permisibles de calcio, magnesio y sílice. Estos límites, por lo general, se encuentran en el manual de la caldera. En caso de que no sea así, consulte al proveedor del servicio de tratamiento de agua.	Sistema de tratamiento de agua.
2	Monitorear la temperatura de los gases en chimenea.	Un indicador indirecto de la formación de depósitos o incrustación es la temperatura de los gases en chimenea. Si esta temperatura aumenta, para una carga de la caldera y un exceso de aire, constantes, el efecto se debe posiblemente a la presencia de incrustación.	Chimenea.
3	Realizar inspecciones visuales a los fluxes de la caldera.	Inspeccionar visualmente los tubos cuando la caldera se encuentra fuera de operaciones y abierta por mantenimiento. La eliminación de la incrustación puede hacerse por medios mecánicos o por tratamiento con ácido. Si encuentra depósitos o incrustación, consulte con un especialista para modificar el tratamiento de agua y el programa de suministro de aditivos.	Caldera.

## 12) Optimización de las purgas de la caldera.

### Objetivo de la medida

Optimizar las purgas de la caldera para reducir la pérdida de calor en la misma. Al reducir la cantidad de agua que se purga de la caldera, puede evitarse pérdidas sustanciales de energía, ya que la temperatura del líquido purgado es la misma que la del vapor generado por la caldera. Si se disminuye la cantidad de purga, también reducirá el costo del agua de repuesto y su tratamiento.

### Problemática encontrada

Cuando el agua se evapora al interior de la caldera, se separan los sólidos presentes en el agua de alimentación. Estos sólidos en suspensión forman lodos o sedimentos que reducen la transferencia de calor entre los gases de combustión y el agua. De forma paralela, los sólidos disueltos provocan espuma y acarreo de agua con el vapor. Para reducir el nivel total de sólidos disueltos (TDS) y suspendidos (TSS) a límites aceptables,<sup>43</sup> periódicamente se tiene que descargar o purgar agua de la caldera.

En la Tabla 17 se presentan los valores máximos permisibles que la Asociación Americana de Fabricantes de Calderas<sup>44</sup> recomienda.

Tabla 17. Valores máximos permisibles de acuerdo con la Asociación Americana de Fabricantes de Calderas

Presión de trabajo (psig)	Sólidos totales disueltos (ppm)	Alcalinidad total (ppm)	Sólidos en suspensión (ppm)	Sílice (ppm)
0 – 300	3,000	700	300	125
3001 – 450	3,000	600	250	90
451 – 600	2,500	500	150	50
6001 – 750	2,000	400	100	35
751 – 900	1,500	300	60	20
901 – 1,000	1,250	250	40	8
1,001 – 1,500	1,000	200	20	2.5
1,5001 – 2,000	750	150	10	1.0
2,000 - mayor	500	100	5	0.5

Fuente: Alba González Margarita, Sandoval Carrillo, Alberto, Martínez Sánchez, Dionisio, Análisis de riesgos del tratamiento del agua para calderas. Ed. PyV

Otros valores recomendados se presentan en la Tabla 18, éstos son de la marca de calderas Cleaver Brooks.

<sup>43</sup> Cada proveedor de caldera tiene establecido los niveles máximos permisibles, por lo que se recomienda ver el manual de operación de la caldera.

<sup>44</sup> AMBA, sus siglas en inglés.

Tabla 18. Valores para una caldera de tubos de humo, marca Cleaver Brooks, presión 0-300 psig

Concepto	Valor aceptable (ppm)	Valor límite (ppm)
Sólidos totales disueltos	800	2,000
Alcalinidad total	150	700
Dureza	0	0
Sólidos en suspensión	30	125
Sílice	80	125
Aceite, materia orgánica	2	7
Oxígeno	10 – 20	70
Bióxido de carbono	10 - 20	70

Fuente: Manual de Cleaver Brooks.

En general, existen dos tipos de purgado, el de fondo y el de superficie. En el primer caso, el purgado de fondo (o de lodos) es un procedimiento manual que se realiza en intervalos de varias horas y que dura unos cuantos segundos y tiene el propósito de eliminar los sólidos suspendidos que sedimentan en el fondo, los cuales forman lodos muy espesos. Por su parte, las purgas de superficie o de espumas tienen como finalidad desechar los sólidos disueltos que se concentran cerca de la superficie del líquido. Generalmente, este tipo de purga es un proceso continuo.

El llevar a cabo un purgado en exceso o insuficiente provoca los siguientes problemas:

- **Purgado insuficiente:** se presentan arrastres de agua en la corriente de vapor, como también la formación de depósitos (incrustaciones) en las tuberías de la caldera;
- **Purgado en exceso:** desperdicio de energía,<sup>45</sup> de agua y productos químicos.

La cantidad correcta de la purga es determinada por varios factores, entre los que destacan:

- Tipo de la caldera<sup>46</sup>;
- Presión de operación;
- Calidad de agua de reposición en el sitio<sup>47</sup>;
- Cantidad y calidad de recuperación de condensado<sup>48</sup>.

<sup>45</sup> El agua purgada o eliminada cuenta con la misma temperatura en el interior de la caldera, y sale a la presión que también tiene el interior de la caldera, por lo que contiene la misma cantidad de energía. Por ello, eliminar una mayor cantidad de agua en la purga es botar prácticamente dinero, ya que la energía no se vuelve a recuperar.

<sup>46</sup> Para mayor referencia vea el manual de operación y/o de mantenimiento de la caldera.

<sup>47</sup> De acuerdo al sitio donde se ubique la caldera, se deberá llevar un análisis del agua, para que con ello se determine el tipo de tratamiento que se deberá dar al agua de reposición. Una buena medida es llevar en bitácora donde se describa el análisis del agua cruda, el tipo de químicos usados para su ablandamiento así como las cantidades suministradas.

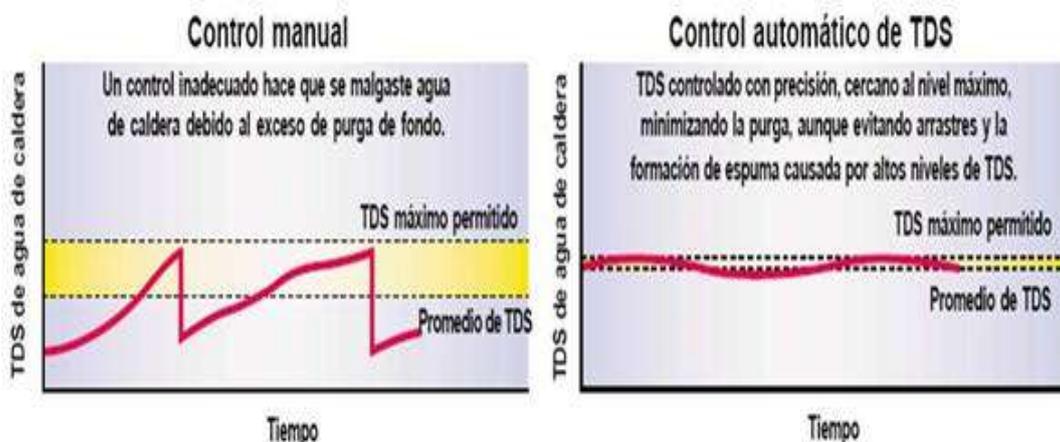
<sup>48</sup> Una buena práctica es contar con el análisis químico del condensado recuperado, ya que ingresar un condensado turbio a la caldera traerá problemas operativos. Esta práctica se podrá realizar por la propia empresa siempre y cuando cuente con laboratorio químico, o bien, por la empresa del servicio de tratamiento de agua.

### Mejores prácticas

El objetivo de esta operación es la extracción de sólidos disueltos y en suspensión dentro de la caldera, ya que, al vaporizarse el agua al interior de la caldera, la concentración de sólidos aumenta en el agua que queda, lo cual conduce a posibles depósitos en las superficies metálicas, reducen significativamente la tasa de transferencia de calor de los gases de combustión al agua, reduciendo con ello la eficiencia de la caldera.

La purga se realiza extrayendo agua de la parte inferior de la caldera, donde se depositan los sólidos. Hay que buscar el nivel adecuado de purga que se le debe dar a la caldera. Una purga insuficiente no impide la formación de fangos, incrustaciones y arrastres mientras que una purga excesiva producirá pérdidas de calor elevadas. La cantidad de purga va normalmente del 4% al 8% de la cantidad de agua de repuesto, pero puede ser tan elevada como el 10% cuando ésta tiene un alto contenido de sólidos. El sistema funciona cuando el controlador mide continuamente con la sonda lateral, la conductividad del agua de la caldera que está directamente relacionada con el nivel del total de sólidos disueltos (TDS). Este valor medido es comparado con el punto de ajuste en el controlador. Si es menor al valor requerido, la válvula de purga permanece cerrada. Si es mayor, la válvula de purga abre hasta que el valor medido esté por debajo del punto de ajuste.

Gráfica 3. Control manual y control automático de purga



Fuente: Spirax Sarco

En la Gráfica 3 se presenta el comportamiento de llevar a cabo una purga manual y una purga automática. En ella se aprecia que, cuando se practica la purga manual, la cantidad de agua que es desalojada es mayor que en el caso de la purga automática, ya que la primera se realiza de acuerdo a los criterios de los análisis del agua que, muchas veces, se realizan una vez a la semana,<sup>49</sup> mientras que en la purga automática se monitorea en tiempo real el nivel de TDS (total de sólidos disueltos).

<sup>49</sup> La frecuencia de los análisis químicos del agua de caldera depende del tamaño de la misma, así como del nivel de mantenimiento de cada hospital.

## VI. Evaluación del Desempeño Energético

La forma para dar seguimiento a los ahorros de energía logrados después de haber implementado las medidas de eficiencia energética es mediante la evaluación del desempeño energético. Para tal efecto, se deberá evaluar dos elementos, la primera es la reducción en el consumo de energía y el económico mediante la comparación de la línea base energética antes de la implementación de los proyectos (ex ante) con respecto al nuevo consumo después de haber implementado los proyectos (ex post). La línea base no es más que el consumo de energía definido en un determinado periodo (por lo general un año), en dicha curva se aprecia el comportamiento del sistema elegido o del consumo total mensualmente, de hecho, es la referencia cuantitativa del consumo de energía y de cada proyecto se puede establecer su línea base. Con la comparación de ambas líneas (ex antes y ex post) se determinará la reducción real del consumo de energía, el ahorro económico y la mitigación de los gases efecto invernadero. Analizando sobre todo los mayores ahorros obtenidos por temporalidad. Un punto relevante de la definición de la línea base es identificar los consumos y demanda significativos de consumo de energía, y con ello poder identificar oportunidades de reducción de emisiones.

En ciertas ocasiones y por las propias actividades del hospital, llega a suceder que el consumo de energía sea el mismo o incluso mayor, causando confusión en los ahorros reales que se pudieron lograr, sin embargo, este incremento puede deberse a que se ofrecen una mayor cantidad de servicios, que, como consecuencia natural, trae consigo en un mayor consumo de energía. Por ello es necesaria una segunda evaluación del desempeño, la cual es la comparativa de indicadores energéticos que se determinaron en el mismo periodo de la línea base. Para construir los indicadores es indispensable contar tanto con información de la facturación, así como datos de las operaciones del hospital. En la siguiente tabla se presentan algunos indicadores que se pueden usar, con esta herramienta también se evalúa el desempeño energético. Un ejemplo muy factible es conocer el consumo de combustible por cantidad de camas. Aquí se considera todas las camas que posea el inmueble independiente del índice de ocupación y de estadía que tengan (de acuerdo con la intención de dejar factores externos como invariables o irrelevantes para toda la muestra).

Este parámetro es un indicador muy utilizado por los hospitales para determinar su eficiencia de operación, es decir, ver los niveles de atención, el índice de ocupación de camas, el índice de rotación, etc., y de esa manera comparar el ex ante y el ex post. Inclusive se podría comparar con otros hospitales que sean del mismo tipo. Dicha comparativa se le conoce como benchmarking.

Tabla 19. Indicadores energéticos

Indicador	Nomenclatura	Descripción	Unidades	Periodicidad	Fuente de información
Consumo de Combustible Anual.	CCA	Volumen del combustible	Litros/año, m <sup>3</sup> /año	Anual	Facturación del combustible

Indicador	Nomenclatura	Descripción	Unidades	Periodicidad	Fuente de información
		consumido en un año.			
Consumo Energético Anual.	CEA	Energía consumida en MJ por año	MJ/año	Anual	Facturación del combustible
Consumo Energético Mensual.	CEM	Energía consumida en MJ por mes	MJ/mes	Mensual	Facturación del combustible
Porcentaje de Ahorro de Energía.	PAE	Porcentaje de ahorro de energía del año actual con respecto al año anterior.	%	Anual	Facturación del combustible
Consumo de energía por número de camas, anual y mensual.	CENCA CENCM	Energía consumida en MJ por el número de camas en un año o en un mes.	MJ/# camas anuales; MJ/# camas mensuales	Anual, mensual	Facturación del combustible y levantamiento de número de camas
Consumo de energía por pacientes atendidos	CEPA	Energía consumida en MJ por paciente atendido en un año o en un mes.	MJ/pacientes atendidos anual; MJ/pacientes atendidos mensual	Anual, mensual	Facturación del combustible y levantamiento de pacientes atendidos
Consumo de energía per cápita	CEPC	Consumo energético anual por el total de personas que ocupan el inmueble, considerando pacientes y personal	MJ/personas	Anual	Facturación del combustible y número total de personal de trabajo y pacientes atendidos

## VII. Conceptos básicos del vapor y de la caldera

Con el propósito de comprender “qué es el vapor” y tener una mayor claridad en la transformación del agua de su estado líquido a su estado de vapor (esto bajo condiciones normales o estándar<sup>50</sup>), se describe el siguiente ejemplo para ilustrarlo.

Considérese un vaso<sup>51</sup> el cual contiene agua. En un inicio dicha agua se encuentra a veinte grados centígrados (fase líquida) en el punto “a”. Si al vaso se le comienza a aplicar calor, la temperatura del agua se incrementa, por lo que el agua está absorbiendo energía, a esto se le conoce como calor sensible.<sup>52</sup>

Al proseguir con el calentamiento al vaso, se llega al punto “b” o al punto “1” sobre la gráfica (ver gráfica 4). Es aquí donde el agua comienza a transformarse de la fase líquida, en la que se encontraba, a vapor, presentándose un burbujeo, el cual es una clara manifestación que, del agua, se desprenden las primeras moléculas en forma de vapor. A partir de este momento y al mantener la aportación de calor, se llega al punto “c”, donde la temperatura dentro del vaso se mantiene constante. Esto es debido a que el agua está absorbiendo energía para cambiar de la fase líquida a la fase gaseosa (vapor). Justamente en el punto “c”, la mitad del agua se ha evaporado y la otra mitad se mantiene en estado líquido.

Siguiendo con la contribución de calor, se llega al punto “d” (o también ilustrado como punto “2” en la línea de la gráfica), donde casi toda el agua líquida se ha evaporizado y la temperatura del agua se mantiene constante, tal y como se puede apreciar en la gráfica, del punto “1” al punto “2”<sup>53</sup>. Si bien la temperatura no varió, sí hubo un incremento en la energía, ya que fue utilizada en el cambio de la fase líquida a gaseosa. A dicho incremento en la energía se le conoce como calor latente.

Prosiguiendo con el aporte de energía, a partir del punto “d” o “2” de la gráfica, el agua se encuentra totalmente convertida en vapor (lo que se conoce como vapor seco), por lo que, al continuar con el aporte de energía, el vapor se manifiesta en un aumento en la temperatura. En este sentido, hay calor sensible. De hecho, si se prosigue dando energía al vapor de agua, se alcanza el punto 3, donde se calienta al vapor, incrementándose su energía, por lo que se obtiene un vapor sobrecalentado.

---

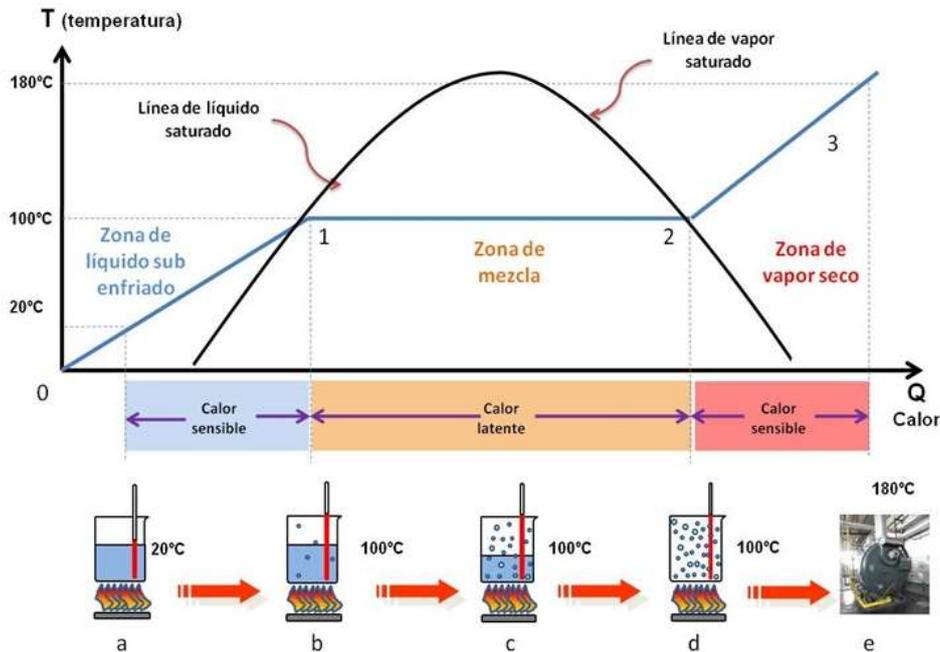
<sup>50</sup> Se conoce como condiciones normales o estándar a aquellas condiciones atmosféricas que tienen una temperatura de 20°C (68°F) y una presión absoluta de una atmósfera (14.696 psi).

<sup>51</sup> Dentro del vaso se encuentra un termómetro para medir la temperatura del agua en cada momento.

<sup>52</sup> El calor sensible es aquella energía térmica que absorbe un cuerpo (en este caso el agua) y se manifiesta en un cambio en su temperatura. Cada vez que se incrementa la energía que se aporte al agua, se incrementa la temperatura. Desde el punto “a” al punto “b”, el agua se encuentra en un estado de líquido sub enfriado, ya que, en todo momento al darle energía, el agua incrementa su temperatura, pero no sufre un cambio de fase.

<sup>53</sup> El punto “1” se conoce como líquido saturado y el punto “2” se conoce como vapor saturado. La región entre ambos puntos se conoce como la región de mezcla, por lo que conviven ambas fases.

Gráfica 4. Temperatura vs calor para el agua



Cabe señalar que, al seguir aportándole energía, en la zona de sobrecalentado, o vapor seco, al mismo tiempo que se incrementa la temperatura del vapor, se incrementa su presión (lo mismo ocurre en la zona de líquido sub enfriado). Dependiendo de las aplicaciones y usos a los que se destine el vapor, será conveniente o no, incrementar la presión del vapor en la caldera.

Una caldera es un equipo donde se transmite el calor de los gases de combustión hacia el agua que contiene en su interior para producir vapor. Existen diversas clasificaciones de generadores de vapor de acuerdo a sus diferentes características. La más común, que es la que se utiliza en la presente guía, los clasifica de acuerdo a la forma en que circulan los gases y el agua en sus tuberías.

**Calderas pirotubulares.** Son aquellas en las que los gases de combustión circulan al interior de los tubos, los cuales se encuentran sumergidos en el agua. Este tipo de calderas son las llamadas tipo paquete. Existen de dos, tres y cuatro pasos. Por lo general son de capacidades bajas y medianas, van desde 20 CC hasta 900 CC.

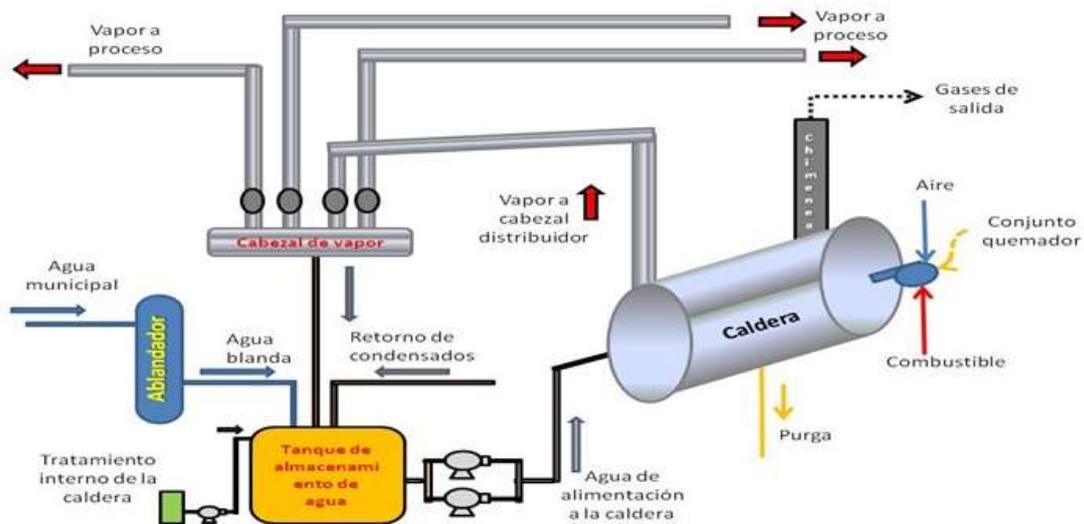
**Calderas acuotubulares.** Son aquellas en las que el agua circula al interior de los tubos, mientras que en el exterior pasan los gases de la combustión. Este tipo de calderas son de mayor capacidad que las pirotubulares, ya que se pueden lograr presiones más altas que en las calderas pirotubulares, esto debido a que el agua pasa por tubos que pueden ser sometidos a mayores presiones que para el caso de las calderas pirotubulares en las que el agua está contenida en grandes recipientes que las haría sumamente costosas si el cuerpo exterior de la caldera se adecuara para manejar altas presiones. Inclusive las calderas de este tipo son usadas en la generación de energía eléctrica. Se

caracterizan por trabajar a altas presiones, normalmente a más de 15 kg/cm<sup>2</sup>, aunque también las hay de baja presión.

Los sistemas principales de una caldera, en términos generales, el sistema de generación de vapor se compone de los siguientes elementos:

1. **Caldera;** es el equipo donde se ingresa agua, además de combustible y se obtiene vapor de agua, así como gases de combustión.
2. **Sistema de alimentación de agua a la caldera;** este sistema debe estar integrado por: 1) tanque de agua de ingreso a la caldera;<sup>54</sup> 2) sistema de tratamiento de agua de reposición.<sup>55</sup>
3. **Sistema de alimentación de combustible;** en función del tipo de combustible a quemar, son los equipos que se requieren para la alimentación al quemador y/o al hogar de la caldera: si bien algunos el combustible más conocido en estado líquido es el diésel, o bien, los de estado gaseoso (gas LP o gas natural). En general, para combustibles líquidos y gaseosos, siempre se utiliza un conjunto quemador donde se realiza la mezcla del combustible con el aire, en condiciones adecuadas de temperatura y mezcla para asegurar una buena combustión.

Ilustración 19. Principales componentes en el cuarto de calderas



4. **Hogar de la caldera;** es la zona donde se lleva a cabo la combustión y donde se transfiere el calor de la flama a las paredes del recipiente o tuberías que contienen al agua. En el hogar se encuentran los quemadores y es el lugar de mayor temperatura en la caldera.

<sup>54</sup> Dicho tanque recibe dos aguas, por una parte, llega el agua del retorno de condensados del vapor y, por otra parte, agua proveniente del sistema de tratamiento de agua. Posteriormente, el agua es bombeada a la caldera; por cuestiones de seguridad se debe contar al menos con dos bombas, una que esté operando, mientras que la segunda que esté en “stand by”, por si la primera llegara a fallar.

<sup>55</sup> Debido a que siempre se pierde agua en el circuito de vapor, es necesario reponerla, esto es mediante agua proveniente de la red municipal (por lo general), se le da un tratamiento para suavizarla (ablandarla) y eliminarle impurezas.

**La capacidad de producción de vapor de un generador** (caldera) se expresa en HP (HP caldera) o Caballos Caldera<sup>56</sup> (CC), en la cantidad de vapor producido por hora (kg/h ó lb/h). También puede ser expresada en términos de energía, esto es, cantidad de calor absorbido por hora (Btu/h, kcal/h) y, en algunas ocasiones en términos de megawatios (MW) para generadores de vapor de gran capacidad. En otros casos, la capacidad de la caldera se expresa en la superficie de calefacción, ya sea en m<sup>2</sup> o pie<sup>2</sup>.

**La capacidad nominal** es el dato de placa que la caldera tiene, ya sea que venga en CC, o bien, especificado en kg/h, ton/h, lb/h, kcal/h, Btu/lb. Dicha capacidad es bajo condiciones normales.

**El porcentaje de carga** se define como la relación entre el calor que transmite por hora y el que debería de transmitir de acuerdo con su superficie de calefacción a razón de 8,450 kcal/h/CC ó de 33,500 Btu/h/CC.

**La eficiencia de una caldera** se calcula utilizando cualquiera de los dos métodos:

- 1) Método directo.
- 2) Método indirecto.

La metodología de cálculo de acuerdo al Código ASME PTC 4.1, donde se establece los cálculos para determinar la eficiencia de un generador de vapor.

De acuerdo al método utilizado se deberán practicar mediciones en la(s) caldera(s) para obtener la eficiencia de la(s) misma(s), estas mediciones son:

- Temperatura de Gases de Combustión.
- Composición de Gases de Combustión.
- Temperatura ambiente.

Estos parámetros se podrán obtener mediante el uso de analizadores de gases.

**Determinación de la Producción de Vapor (Producción Anual de Vapor).** La estimación de la Producción Anual de Vapor está en función de la fuente energética, para ello se toma las siguientes consideraciones:

- 1) Se calcula la energía disponible del combustible con los siguientes valores
  - a. Consumo de combustible; en kg por año

---

<sup>56</sup> Un Caballo Caldera (CC) es la evaporación de 15.65 kg/h (34 lb/h) de agua partiendo de 100°C (212°F) a vapor de 100°C (212°F). En términos de energía es 8,450 kcal/h o 33,475 kcal/h. Definición de la A.S.M.E. (American Society of Mechanical Engineers).

b. Poder calorífico del combustible en MJ/kg

*Energía disponible del combustible = (poder calorífico) x (consumo de combustible)*

- 2) Se obtiene la entalpía del vapor en MJ/kg, de tablas de vapor; se busca en las tablas de vapor saturado con la presión de generación de vapor.
- 3) Se obtiene la entalpía del agua que ingresa a la caldera, a las condiciones de entrada, presión de ingreso y temperatura.
- 4) Se calcula la diferencia de entalpías, la entalpía del vapor menos la entalpía del agua de ingreso a la caldera
- 5) Se determina la eficiencia de la caldera con el método de pérdidas o indirecto de acuerdo a la PTC 4 del Código ASME.
- 6) La Producción de vapor teórica se calcula como:

$$\text{Producción de vapor estimado} = \frac{\text{Diferencia de entalpías}}{\eta_{\text{caldera}} \times PC_{\text{combustible}} \times \text{Consumo}_{\text{combustible}}}$$

**La Estimación de los Costos del Vapor**, se determina como:

$$CV = \sum \text{costos} = \left[ \frac{\$}{\text{año}} \right]$$

Esto se refiere a la suma de todos los costos involucrados en la Generación del Vapor, el cual se estima como:

Donde CV es el Costo del Vapor Anual

La suma de los costos que se debe de considerar:

- Costo Anual del Combustible.
- Costo Anual de la Energía Eléctrica Utilizada por los equipos auxiliares.
- Costo Anual de los Químicos usados en el Tratamiento Interno de la Caldera.
- Costo Anual de los Químicos usados en el Tratamiento Externo (tratamiento del agua de agua cruda y de reposición).
- Costo Anual de Operarios.
- Costo Anual del Agua de Reposición.

Para determinar el Costo de la Generación por tonelada ( $CGV_{ton}$ ) se determina de la siguiente manera:

$$CV_{ton} = \frac{CV_{annual}}{\text{toneladas de vapor producidas por año}} = \left[ \frac{\$}{ton} \right]$$

Donde  $CV_{ton}$  es el Costo de Generación de Vapor por Tonelada

Para determinar el Costo de la Generación de Vapor por unidad de Energía ( $CV_{energía}$ ) se determina de la siguiente manera:

$$CV_{ton} = \frac{CV_{annual}}{\text{energía anual del vapor}} = \left[ \frac{\$}{MJ} \right]$$

Donde  $CV_{ton}$  es el Costo del Vapor por Unidad de Energía

## VIII. Bibliografía

Armstrong; **Guía para la Conservación de Vapor en el Drenado de Condensados**, Editorial Armstrong, p. 6 a 9, 17 a 21, 41, 42 a 46; Estados Unidos.

Luis Alfonso Molina Igartua / Gonzalo Molina Igartua, Centro para el Ahorro y Desarrollo Energético y Minero, S.A. (CADEM), **“Manual de EFICIENCIA ENERGÉTICA TÉRMICA en la industria” (Tomo I y II)**, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Bilbao, España, 1984.

CIBO; **Energy Efficiency Handbook**; Editorial: Council of Industrial Boiler Owners (CIBO), p. 13 a 19, 59 a 60; Estados Unidos.

CONAE; **Eficiencia en Calderas y Combustión**, Editorial Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), p. 7 a 8; México.

CONAE; **Bases para el Ahorro de Energía en Calderas y Sistemas de Vapor**, Editorial Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), p. 12 a 18; México.

CONAE; **Trampas de vapor**, Editorial Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), p. 12 a la 14; México.

IMSS; **Guías Técnicas de Construcción Tomo 3, Instalaciones Hidráulicas, Sanitarias y Especiales**, Editorial Instituto Mexicano del Seguro Social, 2004, p. 12 a 19, 135 a 149; México.

Spirax Sarco; **Design of Fluid Systems Hook-Ups**, Editorial Spirax Sarco, p. 45 a 48, 55 a 58; Estados Unidos.

Spirax Sarco; **Design of Fluid Systems Steam Utilization**, Editorial Spirax Sarco, p. 15, 37 a 41, 50 a 55; Estados Unidos.

Spirax Sarco; **Guía de Referencia Técnica, Distribución de Vapor**, Editorial Spirax Sarco, p. 18, 29,46,47; Estados Unidos.

Spirax Sarco; **Guía de Referencia Técnica, Purga de Vapor y Eliminación de Aire**, Editorial Spirax Sarco, p. 7 a 10, 38 a 41, 55, 63 94 a 96; Estados Unidos.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ENER-1995, Eficiencia térmica de calderas paquete.

Norma Oficial Mexicana NOM-012-ENER-1996, Eficiencia térmica de calderas de baja capacidad.

Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales.

Norma Oficial Mexicana NOM-012-ENER-1996, Eficiencia térmica de calderas de baja capacidad.

LINEAMIENTOS de operación para el otorgamiento de las autorizaciones de funcionamiento de los recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas

[www.mledprogram.org](http://www.mledprogram.org)

